

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy

Vliv mimořádných událostí na plynulost silničního provozu

Uncommon Incidents Effects on Road Traffic Fluency

Student: Bc. Luděk Vyka

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Dorda, PhD.

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Bc. Luděk VYKA

Zákopní 6

713 00 Ostrava - Heřmanice

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35-užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60-školní dílo,
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst.3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce, souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- было сжеднано, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst.4 autorského zákona,
- было сжеднано, že užít své dílo-diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na náhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....

podpis studenta

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

VYKA, L. *Vliv mimořádných událostí na plynulost silničního provozu*. Ostrava: Institut dopravy, Fakulta strojní, VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2011, počet stran 93 s.

Diplomová práce, vedoucí Ing. Michal Dorda, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá vznikem mimořádných událostí, které vznikají na pozemních komunikacích. V úvodu jsou uvedeny základní údaje o vybraném úseku, metody modelování a popis zpracování statistických údajů. Snahou je simulovat mimořádné události vznikající v silničním provozu.

Podkladem pro mou práci jsou vybraná data z bodového měření CDV Brno v.v.i. Na základě těchto dat jsou pomocí softwaru Wittness vytvořeny simulační modely a rovněž provedeny simulační experimenty částečné uzavírky a omezení.

ANNOTATION OF THESIS

VYKA, L. *Uncommon Incidents Effects on Road Traffic Fluency*. Ostrava: Institute of Transport, Faculty of Mechanical Engineering VŠB-Technical University of Ostrava, 2011, Total number of pages 93 p. Thesis, head Ing. Michal Dorda, Ph.D.

This thesis deals with the formation of uncommon effects occurring on the roads. At the beginning information regarding basic facts about the particular stage, the methods of simulation and description of statistical data are specified. The aim is to simulate the uncommon incidents in the road traffic.

The sources of my thesis are presented by selected data from spot metering CDV Brno v.v.i. on which basis the simulation models are created by the Witness software. In addition, the simulation experiments of partial closure and restriction are carried out.

Seznam použitých zkratk a značek

CDV – Centrum dopravního výzkumu v.v.i., Brno

TP - technické podmínky

RPDI – roční průměr denních intenzit

voz. – vozidlo

H₀ - nulová hypotéza

H₁ - alternativní hypotéza

T – testové kritérium

A – obor přijetí

C – kritický obor

n_i - pozorovaná četnost v i-té třídě

n - rozsah souboru

p_i - pravděpodobnost výskytu statistického znaku v dané třídě za předpokladu platnosti nulové hypotézy

k - počet tříd

h - počet odhadovaných parametrů

x_{max} - maximální hodnota ve statistickém souboru

x_{min} - minimální hodnota ve statistickém souboru

α – hladina významnosti

χ² - chí kvadrát

μ – střední hodnota

σ – rozptyl

χ²_{krit} – kritická hodnota testu

v₁ - rychlost pomalého vozidla

v₂ - rychlost rychlého vozidla

l₁ - dráha, kterou urazí pomalé vozidlo

l₂ - dráha, kterou urazí rychlé vozidlo

t₁ - doba jízdy pro pomalého vozidla braná od okamžiku vstupu rychlého vozidla do úseku

t₂ - doba jízdy rychlého vozidla

Obsah

1 ÚVOD	8
2 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO ÚSEKU.....	9
2.1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY MIMOŘÁDNÝCH ÚDÁLOSTÍ.....	10
2.2 TYPY DOPRAVNÍCH UDÁLOSTÍ.....	11
3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO ŘEŠENÍ PRÁCE	13
3.1 OBECNÝ POSTUP PŘI TESTOVÁNÍ HYPOTÉZ.....	13
3.2 PEARSONŮV χ^2 TEST DOBRÉ SHODY	15
4 ANALÝZA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO POTŘEBY SIMULACE	17
4.1 MEZERY MEZI VSTUPY PRO SMĚR MILONICE – ČERNÁ HORA	18
4.2 MEZERY MEZI VSTUPY PRO SMĚR ČERNÁ HORA - MILONICE	20
4.3 RYCHLOSTI VOZIDEL PRO SMĚR MILONICE - ČERNÁ HORA	22
4.4 RYCHLOSTI VOZIDEL PRO SMĚR ČERNÁ HORA - MILONICE	23
4.5 TEST NA EXPONENCIÁLNÍ ROZDĚLENÍ MEZER MEZI VSTUPY PRO SMĚR MILONICE - ČERNÁ HORA	25
4.6 TEST NA EXPONENCIÁLNÍ ROZDĚLENÍ MEZER MEZI VSTUPY PRO SMĚR ČERNÁ HORA - MILONICE.....	28
4.7 TEST NA NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ RYCHLOSTÍ VOZIDEL PRO SMĚR MILONICE - ČERNÁ HORA.....	30
4.8 TEST NA NORMÁLNÍ ROZDĚLENÍ RYCHLOSTÍ VOZIDEL PRO SMĚR ČERNÁ HORA - MILONICE.....	32
4.9 ZÁVĚR Z ANALÝZY VSTUPNÍCH ÚDAJŮ.....	34
5 NÁVRH MODELU.....	35
5.2 POJMOVÝ MODEL	36
6 SIMULAČNÍ PROGRAM WITNESS	39
7 SIMULAČNÍ MODEL.....	40
7.1 PRVKY POUŽITÉ V MODELU	41
7.2 SIMULAČNÍ MODEL 1 – VARIANTA S POUŽITÍM ZÁSOBNÍKŮ.....	43
7.3 VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU 1	57
7.4 SIMULAČNÍ MODEL 2 – VARIANTA S POUŽITÍM CEST	62
7.5 VALIDACE SIMULAČNÍHO MODELU 2.....	74
7.6 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ VALIDACE OBOU MODELŮ	76
8 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY	77
8.1 ÚPRAVA MODELU PŘI SNIŽOVÁNÍ RYCHLOSTI	77
OBA UVEDENÉ VÝPOČTY OPĚT VYCHÁZÍ ZE ZAVEDENÝCH PŘEDPOKLADŮ UVEDENÝCH VÝŠE.	81
8.2 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ PŘI POSTUPNÉM SNIŽOVÁNÍ RYCHLOSTI.....	81
8.3 ÚPRAVA MODELU PŘI UZAVÍRCE JEDNOHO JÍZDNÍHO PRUHU.....	84
8.4 VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ PŘI UZAVÍRCE JEDNOHO JÍZDNÍHO PRUHU	89
9 ZÁVĚR.....	90

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	92
---------------------------------	----

1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je vytvoření simulačního modelu pozemní komunikace pomocí software Witness a na vybraném úseku pozemní komunikace simulovat vznik mimořádných událostí a sledovat jejich vliv na dopravu v modelovaném úseku.

Aby bylo možné vytvořit simulační model v software Witness, je nutné vložit vhodná data. Nejvhodnější variantou je bodový dopravní průzkum sloužící jako podklad pro tvorbu simulačních modelů, který obsahuje místo vstupu vozidla do měřeného úseku, čas a rychlost vstupu.

První kapitola popisuje vybraný úsek pozemní komunikace např. typ silnice, šířkové uspořádání a průměrné denní intenzity vozidel. Obsahem první kapitoly je také charakterizování dopravních událostí v silničním provozu.

Druhá kapitola a třetí kapitola se zabývá analýzou dat z již zmíněného bodového dopravního průzkumu a popisu obecného způsobu testování hypotéz. Datový soubor byl zpracován do podoby, která umožňuje testování hypotéz. Bylo zjišťováno zda-li se mezery mezi vozidly a rychlosti vozidel řídí některým z teoretických rozdělení pravděpodobnosti.

Ve čtvrté kapitole je popsán návrh pojmového modelu, kde jsou popsány veškeré děje od vstupu vozidla na úsek až po jeho opuštění.

Po vytvoření pojmového modelu přišla na řadu tvorba simulačního modelu, který je popsán v sedmé kapitole. Byly vytvořeny dva simulační modely, které jsou stejné, co se týče stavby, ale rozdílné, co se týká použití prvků. Zatímco v prvním modelu jsou použity prvky zásobníky („Buffer“), při druhém modelu je využito prvků cest („Path“).

V závěrečné kapitole v rámci simulačních experimentů se zjišťovaly doby zdržení vozidla ve sledovaném úseku, jestliže v něm dojde ke snížení rychlosti, anebo k uzavření jízdního pruhu. V případě uzavírky bylo zjišťováno, zda při současných intenzitách vozidel nebude docházet k výraznému nárůstu doby zdržení vozidel ve sledovaném úseku.

2 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO ÚSEKU

Vybraný úsek se nachází v Jihomoravském kraji. Jedná se o silnici první třídy I/43, která spojuje centrum krajského města Brna s městem Svitavy v Pardubickém kraji (viz obr. č. 1). Je rovněž označená jako E 461, podléhá tedy zvláštnímu předpisu pro mezinárodní provoz. Silnice patří pod Správu a údržbu silnic Blansko. Komunikace je směrově nerozdělená a skládá se dvou jízdních pruhů.



Obrázek 2.1 - Silnice I/43 [9]

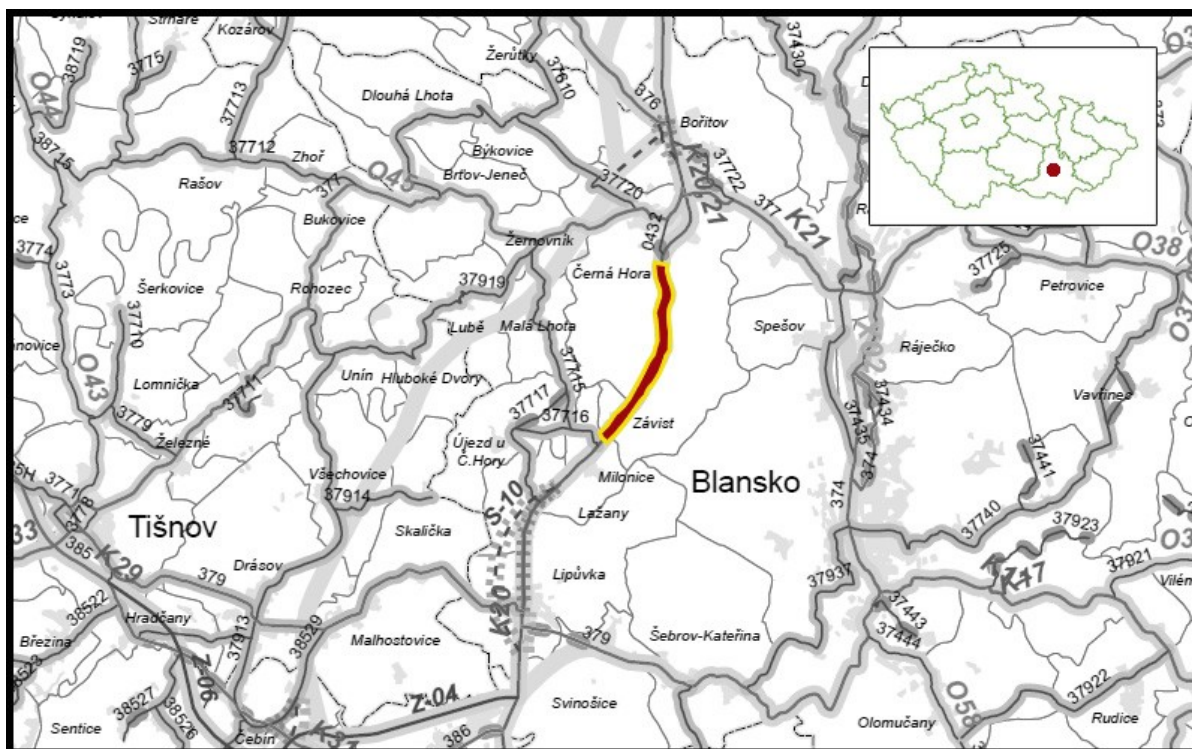
Konkrétním sledovaným úsekem je část mezi obcemi Milonice a Černá hora (viz obr. č. 2.2). Výběr úseku byl proveden na základě poskytnutí údajů z měření Centra dopravního výzkumu v. v. i. Měřený úsek je dlouhý 3,6 km, s průměrnou denní intenzitou vozidel 15 000 [voz/24 h.] dle dopravního průzkumu provedeného 7. dubna 2005 [3].

Tab. č. 1.1 – Průměrná denní intenzita vozidel (stav - rok 2005)

Sčítací úsek R43		T	O	M	S	Úsekové sčítání	
43	6-0370	3811	11566	68	15445	zaús. 379 od Tišnova	x se 377

T roční průměr denních intenzit [počet vozidel / 24 h]
 nákladní vozidla +
 autobusy

- | | | |
|---|---|------------------------|
| O | roční průměr denních intenzit
osobních vozidel | [počet vozidel / 24 h] |
| M | roční průměr denních intenzit
motocyklů | [počet vozidel / 24 h] |
| S | roční průměr denních intenzit
všech vozidel [8] | [počet vozidel / 24 h] |



Obrázek 2.2 - Úsek Milovice - Černá Hora [2]

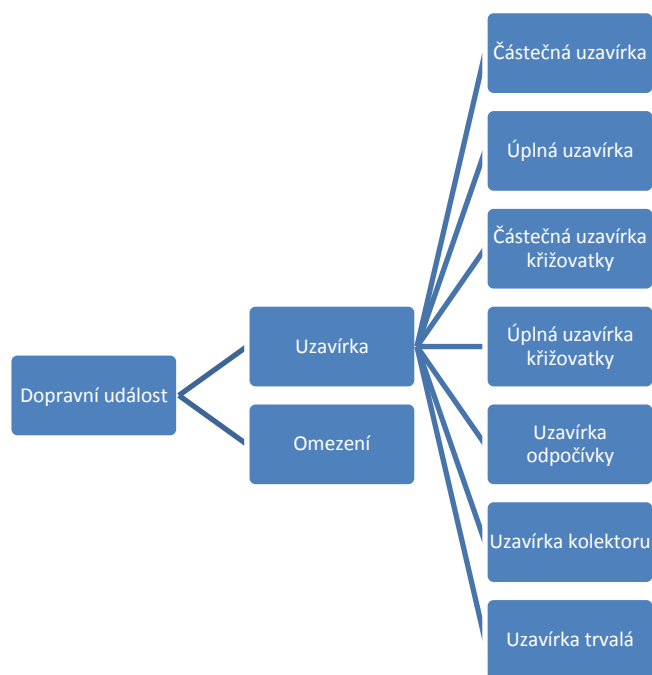
2.1 Úvod do problematiky mimořádných událostí

Na vybraném úseku silniční sítě může docházet k různým dopravním událostem (viz kap. 2.2). Tato událost může částečně nebo úplně omezit silniční provoz a to má za následek snížení kvality dopravy ve sledovaném úseku.

2.2 Typy dopravních událostí

Dle návodu Ministerstva dopravy ČR z roku 2009 a odkazu [2] Rozlišujeme dva typy dopravních událostí:

- a) Uzavírka
- b) Omezení



Obrázek 2.3 - Rozdělení dopravních událostí

Uzavírka je událost, kdy:

- Na směrově dělené komunikaci je uzavřen pro dopravu jeden jízdní pás a doprava je převedena do protisměrného jízdního pásu, případně vedena objížděkou po jiných komunikacích - částečná uzavírka.
- Na směrově dělené komunikaci jsou uzavřeny pro dopravu oba jízdní pásy a doprava je zastavena, případně vedena objížděkou po jiných komunikacích - úplná uzavírka.
- Pro dopravu uzavřen jeden pás směrově nedělené komunikace a doprava z tohoto pásu je vedena objížděkou po jiných komunikacích – částečná uzavírka.

- Pro dopravu jsou uzavřeny oba pásy směrově nedělené komunikace a doprava je vedena objížděkou po jiných komunikacích – úplná uzavírka.
- Na směrově dělené komunikaci je úplně uzavřena křižovatka, na komunikaci v místě křižovatky nelze najet ani z komunikace nelze v místě křižovatky vyjet – úplná uzavírka křižovatky
- Na směrově dělené komunikaci je částečně uzavřena křižovatka, nájezd na komunikaci a výjezd z komunikace je omezen – částečná uzavírka křižovatky.
- Zvláštním případem je uzavírka trvalá. Jedná o uzavírku, která znamená dlouhodobé uzavření komunikace. Nejedná se o nový druh uzavírky.
- Geografická poloha uzavírky je definována pomocí čísla komunikace, počátečního a koncového staničení v rámci liniového staničení. K uzavírce může být vyznačena jedna nebo více objížděk.

Omezení je událost, kdy:

- Na směrově dělených komunikacích je pro dopravu uzavřen jeden nebo více jízdních pruhů v jednom pásu a přitom jízdní pás zůstává průjezdný.
- Na směrově nedělených komunikacích je uzavřen jeden nebo více pruhů v jízdním pásu, případně je doprava převedena do protisměrného pásu, přitom je komunikace průjezdná oběma směry.

V práci uvažují, že v rámci experimentu bylo provedeno postupné snižování rychlosti ve sledovaném místě. Snižování rychlosti může probíhat např. z bezpečnostních důvodů. Dále pak v rámci experimentu byl uzavřen jeden jízdní pruh a byl osazen světelně signalizačním zařízením a omezením rychlosti.

3 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRO ŘEŠENÍ PRÁCE

V této kapitole bude popsán obecný princip testování hypotéz se zaměřením na Pearsonův χ^2 test dobré shody.

3.1 Obecný postup při testování hypotéz

Jelikož budou v práci testovány statistické hypotézy, popišme si nejdříve obecný postup při testování hypotéz, dle návodu v elektronických skriptech [8]. Proces, při němž se rozhodujeme mezi dvěma tvrzeními, se nazývá testování hypotéz. Jako první navrhuje nulovou hypotézu H_0 – jde o tvrzení, které je bráno jako předpoklad při testování (např. vyjádřená rovností $\mu=100$).

Proti tomuto tvrzení stavíme alternativní hypotézu H_1 a zpravidla bývá vyjádřena nerovností ($<$, $>$, \neq). Vybereme-li alternativní hypotézu H_1 ve tvaru „ $<$ ” nebo „ $>$ ”, hovoříme o jednostranné alternativní hypotéze (např. $\mu < 100$, $\mu > 100$). Vybereme-li alternativní hypotézu H_1 ve tvaru „ \neq ”, mluvíme o oboustranné alternativní hypotéze.

Při testování hypotéz vždy stanovujeme obě hypotézy, jak nulovou, tak alternativní. Nulová hypotéza musí být stanovena, jak už bylo řečeno, jednoznačně pomocí rovnosti a alternativní hypotézu stanovíme pomocí nerovnosti. Postup probíhá v následujících krocích:

1. **Formulace nulové a alternativní hypotézy** – formulace nulové hypotézy H_0 a alternativní hypotézy H_1 v závislosti na tom, co chceme testovat.
2. **Volba testové statistiky (testového kritéria) $T(\underline{X})$** – výběrová funkce vyjadřující sílu platnosti nulové hypotézy ve srovnání s hypotézou alternativní. Pro následující kroky testu musíme znát rovněž rozdělení testové statistiky při platnosti H_0 (nulové rozdělení) $F_0(x)$:

$$F_0(x) = P(T(\underline{X}) < x | H_0)$$

3. **Sestrojení kritického oboru a oboru přijetí** – prostor všech možných hodnot testové statistiky (S) rozdělíme na dva disjunktní prostory. Prvním je obor přijetí

(A), který obsahuje hodnoty testové statistiky svědčící pro nezamítnutí nulové hypotézy, a druhým je kritický obor (C), který obsahuje hodnoty svědčící pro zamítnutí nulové hypotézy. Je zřejmé, že $A \cup C = S$; $A \cap C = \emptyset$. Kritickou hodnotou testu je hranice mezi kritickým oborem a oborem přijetí.

Konstrukce kritického oboru: Kritický obor bude tak velký, aby pravděpodobnost, že testová statistika leží v kritickém oboru za předpokladu platnosti nulové hypotézy, byla rovna hladině významnosti α .

$$P(T(\underline{X}) \in C | H_0) = \alpha$$

Můžeme říci, že pravděpodobnost, že hodnota testové statistiky bude ležet v oblasti svědčící pro zamítnutí nulové hypotézy, přestože je nulová hypotéza platná, má být rovna předem zvolené hodnotě α .

Známe-li nulové rozdělení testové statistiky $T(\underline{X})$, není obtížné pro dané α stanovit kritický obor:

a) Je-li alternativní hypotéza ve tvaru „<“ (ve prospěch alternativy svědčí nízké hodnoty testové statistiky), pak je kritický obor vymezen jako:

$$C \leq T_{\alpha}.$$

b) Je-li alternativní hypotéza ve tvaru „>“ (ve prospěch alternativy svědčí vysoké hodnoty testové statistiky), pak je kritický obor vymezen jako:

$$C \geq T_{1-\alpha}.$$

c) Je-li alternativní hypotéza ve tvaru „≠“ (ve prospěch alternativy svědčí extrémně nízké nebo extrémně vysoké hodnoty testové statistiky), pak je kritický obor vymezen jako:

$$\left(C \leq T_{\frac{\alpha}{2}}\right) \vee \left(C \geq T_{1-\frac{\alpha}{2}}\right).$$

4. Výpočet pozorované hodnoty testové statistiky $T(\underline{X}) - x_{OBS}$

Výpočet se provede dosazením do vztahu pro testovou statistiku z bodu 2. Při tomto výpočtu předpokládáme platnost nulové hypotézy.

5. Formulace závěru testu – každý test vede ke dvěma možným výsledkům:

- a) Leží-li testová statistika v kritickém oboru ($x_{OBS} \in C$), pak zamítáme nulovou hypotézu ve prospěch alternativní hypotézy
- b) Leží-li testová statistika v oboru přijetí (tzn. neleží v kritickém oboru - $x_{OBS} \in C$), pak **nulovou hypotézu nezamítáme.**

3.2 Pearsonův χ^2 test dobré shody

Chceme-li otestovat, zda-li se naměřená data pochází z některého z teoretických rozdělení, používáme již zmíněný nástroj – testování hypotéz. V případě této diplomové práce bude použit Pearsonův χ^2 test dobré shody. Obecný postup při tomto testu probíhá v několika krocích:

1. Formulace nulové a alternativní hypotézy.

Nulovou hypotézu volíme ve tvaru: získaná data se řídí konkrétním rozdělením pravděpodobnosti s konkrétními parametry. Z formulace nulové hypotézy je zřejmé, že nejdříve musíme statistická data zpracovat (např. do formy histogramu) a provést odhad parametrů některou ze známých metod bodových odhadů (např. metoda maximální věrohodnosti).

Alternativní hypotéza je ve tvaru negace nulové hypotézy.

2. Testová statistika a její nulové rozdělení

Testová statistika je definována vztahem:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \rightarrow \chi_{k-h-1}^2,$$

kde:

n_i pozorovaná četnost v i-té třídě,

n rozsah souboru,

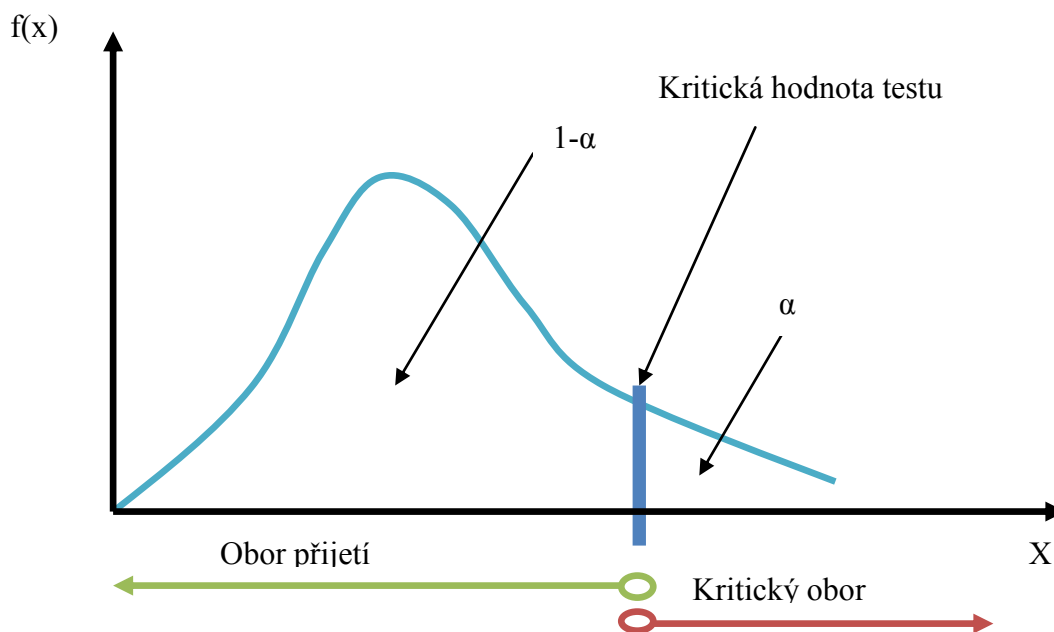
p_i ...pravděpodobnost výskytu statistického znaku v dané třídě za předpokladu platnosti nulové hypotézy,

k počet tříd,

h ...počet odhadovaných parametrů.

Za předpokladu, že všechny teoretické četnosti $n.p_i$ jsou větší než 5, se výše definovaná testová statistika řídí rozdělením χ^2 s $k-h-1$ stupni volnosti.

S rostoucí hodnotou testové statistiky roste rozpor naměřených dat s nulovou hypotézou, od určité hodnoty (kritická hodnota testu) je tento rozpor statisticky významný. Nulovou hypotézu zamítáme ve prospěch alternativní hypotézy. Problém je znázorněn na obrázku č. 3.1.



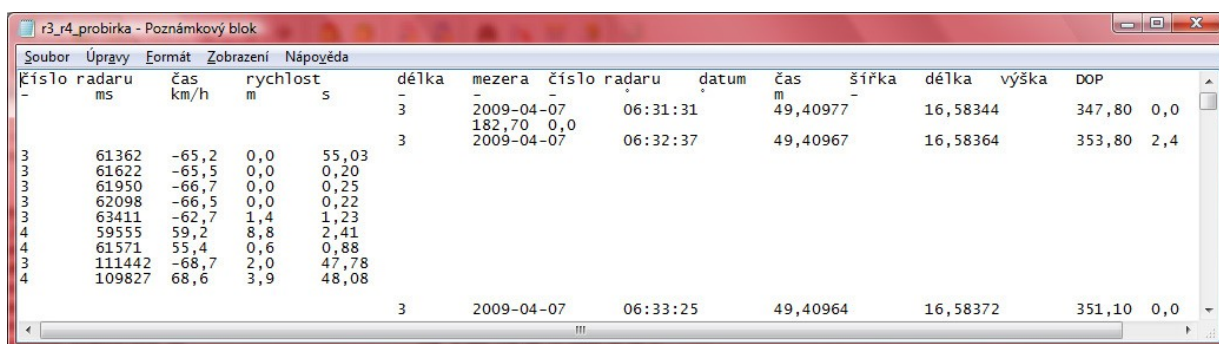
Obrázek 3.1 Kritická hodnota testu

Kritickou hodnotu testu získáme jako 100.(1- α)-ní kvantil rozdělení χ^2 s příslušným počtem stupňů volnosti. Hodnotu můžeme odečíst z tabulek nebo ji vypočítat pomocí Excelu, kde použijeme funkci CHIIINV.

4 ANALÝZA VSTUPNÍCH ÚDAJŮ PRO POTŘEBY SIMULACE

Z údajů měření (viz. obr. č. 4.1) vyplývá, že měření bylo prováděno bodově. Důležitými údaji pro modelování dopravního proudu jsou místo a čas vstupu vozidel do sledovaného úseku [ms], rychlost[km/h], mezeru mezi vozidly [m]. Z dat je patrné, že doba měření probíhala v čase 6:31 až 10:51. Z údajů měření plyne, že radar č. 3 získával údaje vozidel jedoucích ve směru Milonice – Černá Hora a radar č. 4 získával údaje vozidel jedoucích v opačném směru. Data musela být zpracována, nejprve byly odstraněny záporné hodnoty rychlostí, které znázorňují vozidla jedoucí v opačném směru. Poté jsem vybral data, pro každý směr zvlášť. Výsledkem zpracování jsou histogramy četností mezer mezi vozidly a rychlosti vozidel.

Z hlediska dodržení kapacity jednotlivých úseků je nutno uvažovat i o délce vozidel. Pro potřeby práce byla vozidla rozdělena do dvou skupin. Toto rozdělení vychází z celostátního sčítání dopravy v roce 2005. Z původních tří kategorií byly vytvořeny skupiny dvě a to osobní vozidla a nákladní vozidla. Ve výsledcích celostátního sčítání je i třetí kategorie: motocykly. Jelikož motocykly svou délkou nepřekračují délku osobních vozidel, byly zařazeny do kategorie osobní vozidla. Na základě tabulky č. 2.1 byl vypočten procentuální poměr mezi osobními a nákladními vozidly v daném úseku. Tento poměr je roven 25,2 : 74,8 %.



Číslo radaru	čas	rychlost	délka	mezera	číslo radaru	datum	čas	šířka	délka	výška	DOP
ms	km/h	m	s	m			m	m	m	m	
3	61362	-65,2	0,0	55,03	3	2009-04-07	06:31:31	49,40977	16,58344	347,80	0,0
3	61622	-65,5	0,0	0,20	3	2009-04-07	06:32:37	49,40967	16,58364	353,80	2,4
3	61950	-66,7	0,0	0,25							
3	62098	-66,5	0,0	0,22							
3	63411	-62,7	1,4	1,23							
4	59555	59,2	8,8	2,41							
4	61571	55,4	0,6	0,88							
3	111442	-68,7	2,0	47,78							
4	109827	68,6	3,9	48,08							
					3	2009-04-07	06:33:25	49,40964	16,58372	351,10	0,0

Obrázek 4.1 Ukázka formátu naměřených dat

Z naměřených dat je třeba pro potřeby simulace získat údaje o mezerách mezi vstupy vozidel do úseku pro jednotlivé směry v s a údaje o jejich bodově naměřené rychlosti km/h. Je tedy zřejmé, že celkem se jedná o 4 statistické soubory, které je třeba dále statisticky zpracovat. Pro potřeby testování hypotéz potřebujeme statistické soubory rozdělit do tříd. Toto bude provedeno následujícím obecným postupem.

Počet tříd k , zjišťujeme pomocí Sturgesova pravidla dle vzorce:

$$k = 1 + 3.3 \cdot \log n, \quad (4.1)$$

kde

kpočet tříd,

nrozsah souboru.

Nyní určíme šířku třídy s , kterou vypočítáme z následujícího vzorce:

$$s = \frac{(x_{max} - x_{min})}{1 + 3.3 \cdot \log n}, \quad (4.2)$$

kde:

x_{max} ...maximální hodnota ve statistickém souboru,

x_{min} ...minimální hodnota ve statistickém souboru,

n ...rozsah souboru.

Známe-li počet tříd a jejich šířku, můžeme sestavit histogram četností, což je sloupkový graf, v němž každé třídě přiřadíme její četnost.

4.1 Mezery mezi vstupy pro směr Milonice – Černá Hora

Měřením bylo získáno celkem 1540 mezer mezi vstupy vozidel pro směr Milonice – Černá hora. Dosazením do vzorce (4.1) dostaneme:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log 1543 = 11,521 \approx 12 \text{ tříd.}$$

Z výsledku plyne, že celý soubor rozdělíme do 12 tříd.

Šířku třídy získáme dosazením do vzorce (4.2):

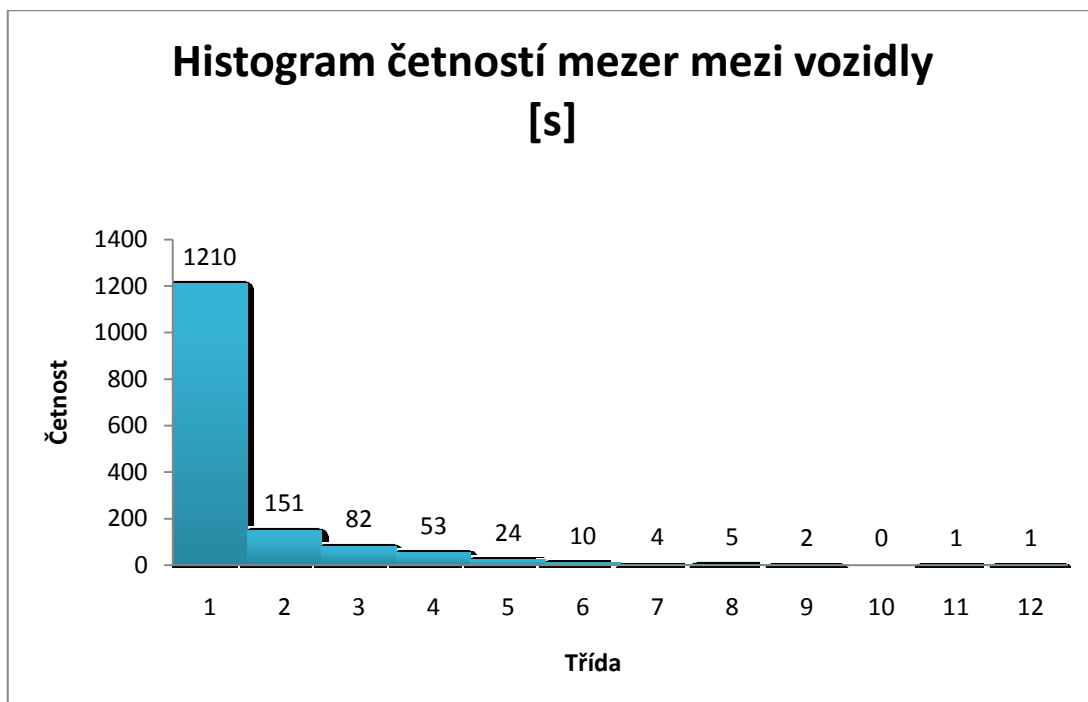
$$s = \frac{(110,43-0,14)}{1+3.3.\log 1543} = 9,572 \approx 10 \text{ s}$$

Rozdělení získaného statistického souboru do jednotlivých tříd bylo provedeno v software Microsoft Excel. Jednotlivé hranice tříd a odpovídající pozorované četnosti jsou uvedeny v tabulce č. 4.1

Tab. č. 4.1 Hranice tříd a pozorované četnosti mezer mezi vozidly (radar č. 3)

Třída	Dolní hranice třídy	Horní hranice třídy	Četnost
1	0.14	10	1210
2	10	20	151
3	20	30	82
4	30	40	53
5	40	50	24
6	50	60	10
7	60	70	4
8	70	80	5
9	80	90	2
10	90	100	0
11	100	110	1
12	110	120	1

Histogram četností je zobrazen na následujícím v na obrázku č. 4.2



Obrázek 4.2 Histogram četností mezer mezi vozidly (radar č. 3)

4.2 Mezery mezi vstupy pro směr Černá Hora - Milonice

Měřením bylo získáno celkem 820 mezer mezi vstupy vozidel pro směr Černá hora - Milonice. Dosazením do vzorce (4.1) dostaneme:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log 820 = 10,616 \approx 11 \text{ tříd,}$$

Z výsledku plyne, že celý soubor rozdělíme do 11 tříd.

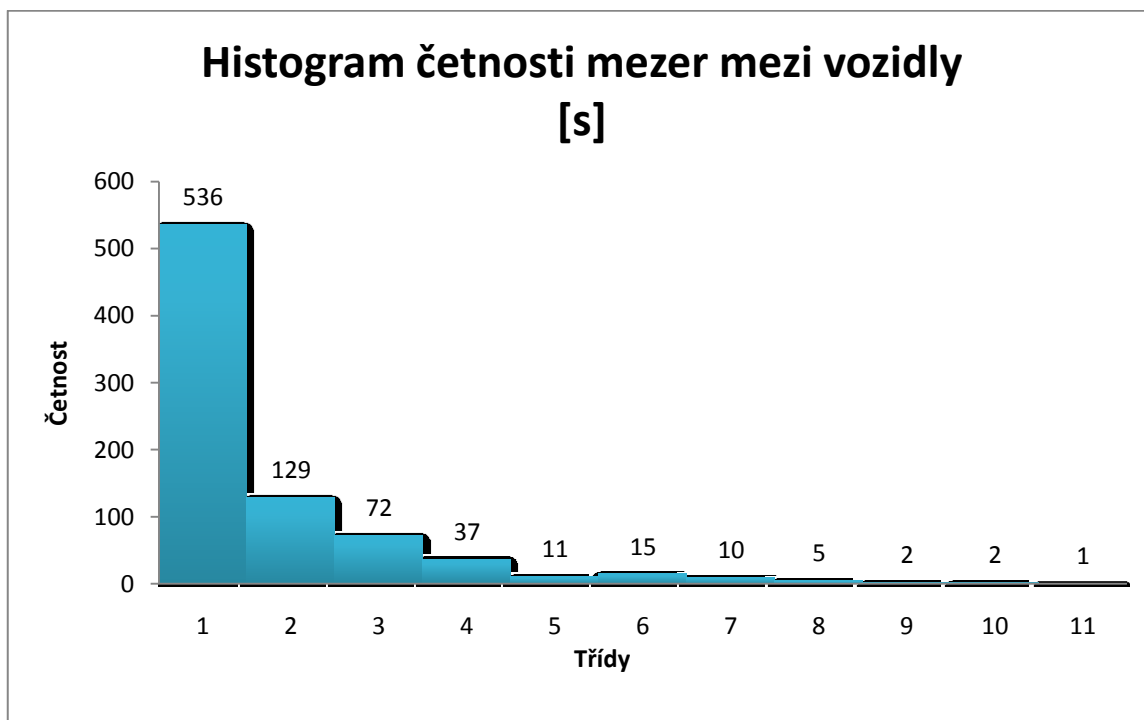
Šířku třídy získáme dosazením do vzorce (4.2):

$$s = \frac{(102,75 - 0,14)}{1 + 3 \cdot \log 820} = 9,666 \approx 10 \text{ s}$$

Tedy, šířka třídy je 10. V dalším postupu opět sestrojíme histogram četností, v němž každé třídě přiřadíme její četnost. Jednotlivé hranice tříd a odpovídající pozorované četnosti jsou uvedeny v tabulce č. 4.2

Tab. č. 4.2 Hranice tříd a pozorované četnosti mezer mezi vozidly (radar č. 4)

Třída	Dolní hranice třídy	Horní hranice třídy	Četnost
1	0.14	10	536
2	10	20	129
3	20	30	72
4	30	40	37
5	40	50	11
6	50	60	15
7	60	70	10
8	70	80	5
9	80	90	2
10	90	100	2
11	100	110	1



Obrázek 4.3 Histogram četností mezer mezi vozidly (radar č. 4)

4.3 Rychlosti vozidel pro směr Milonice - Černá Hora

Postup výpočtu je naprosto shodný jako v předcházejících případech. Nejprve dle Sturgesova pravidla vypočítáme počet tříd. Dosazením do vzorce (4.1) dostaneme:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log 1542 = 11,521 \approx 12 \text{ tříd.}$$

Z výsledků vyplývá, že počet tříd je roven 12. Následně vypočítáme šířku třídy:

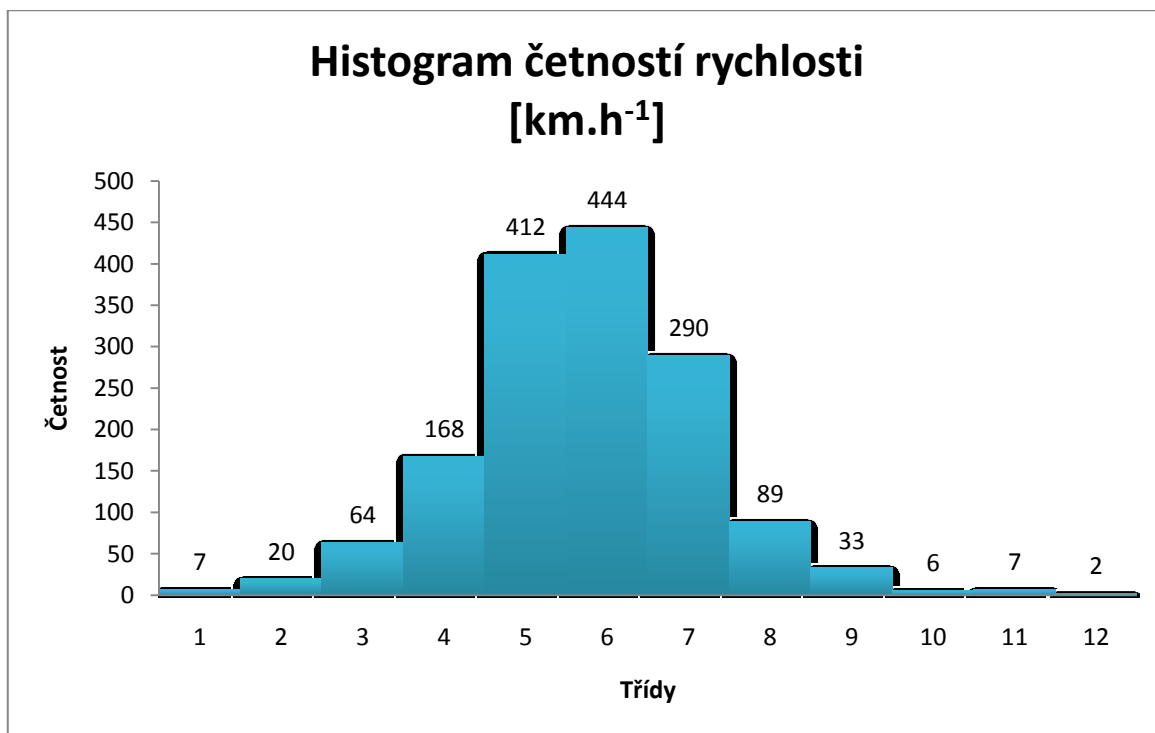
$$s = \frac{(114,2 - 32,9)}{1 + 3,3 \cdot \log 1542} = 7,057 \approx 7 \text{ km/h.}$$

Známe-li šířku třídy a počet tříd, můžeme přistoupit k definování mezí jednotlivých tříd a k stanovení četností – viz tabulka č. 4.3

Tab. č. 4.3 Hranice tříd a pozorované četnosti rychlosti vozidel (radar č. 3)

Třída	Dolní hranice třídy	Horní hranice třídy	Četnost
1	32.9	39	7
2	39	46	20
3	46	53	64
4	53	60	168
5	60	67	412
6	67	74	444
7	74	81	290
8	81	88	89
9	88	95	33
10	95	102	6
11	102	109	7
12	109	114.2	2

V dalším postupu opět sestrojíme histogram četností, v němž každé třídě přiřadíme její četnost. Histogram četností je zobrazen na následujícím na obr. č. 4.4.



Obrázek 4.4 Histogram četnosti rychlosti vozidel (radar č. 3)

4.4 Rychlosti vozidel pro směr Černá Hora - Milonice

Postup výpočtu je naprosto shodný jako v předcházejících případech. Nejprve dle Sturgesova pravidla vypočítáme počet tříd. Dosazením do vzorce (4.1) dostaneme:

$$k = 1 + 3,3 \cdot \log 818 = 10,612 \approx 11 \text{ tříd.}$$

Z výsledků vyplývá, že počet tříd je roven 11. Šířku třídy získáme dosazením do vzorce (4.2):

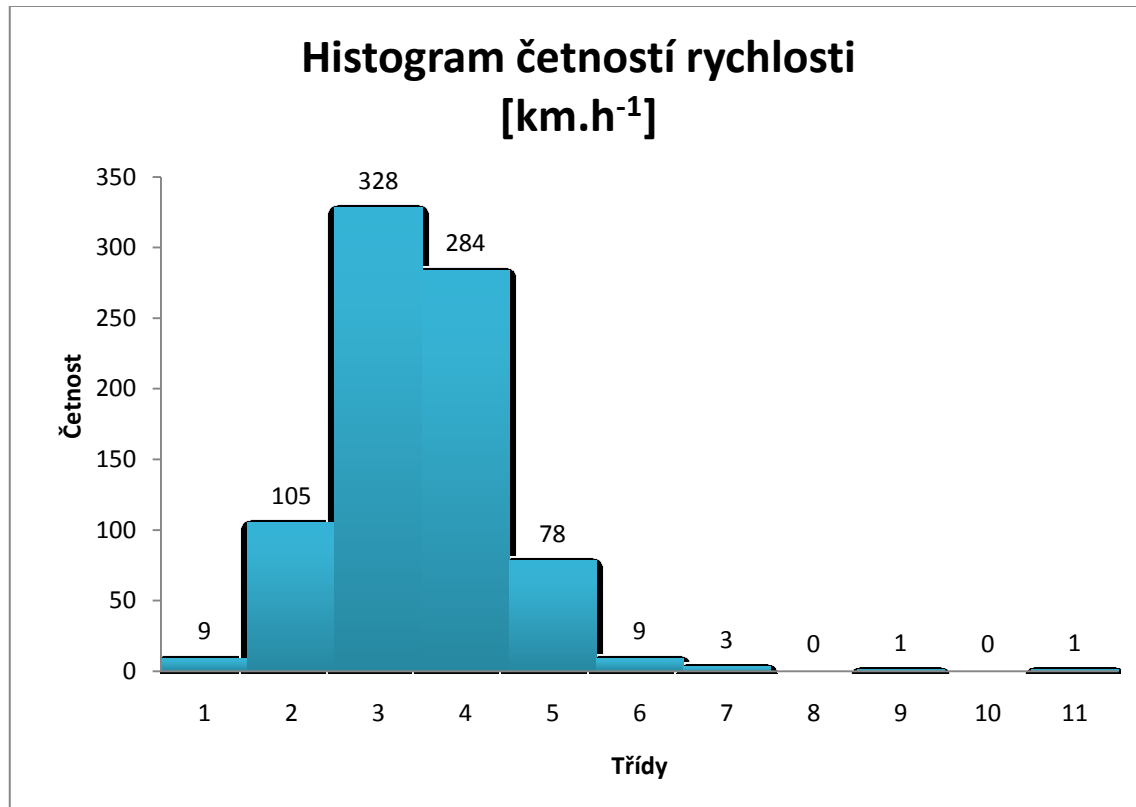
$$s = \frac{(114,2 - 32,9)}{1 + 3,3 \cdot \log 818} = 12,552 \approx 13 \text{ km/h.}$$

Známe-li šířku třídy a počet tříd, můžeme přistoupit k definování mezí jednotlivých tříd a k stanovení četností – viz tabulka č. 4.4.

Tab. č. 4.4 Hranice tříd a pozorované četnosti rychlosti vozidel (radar č. 4)

Třída	Dolní hranice třídy	Horní hranice třídy	Četnost
1	34	47	9
2	47	60	105
3	60	73	328
4	73	86	284
5	86	99	78
6	99	112	9
7	112	125	3
8	125	138	0
9	138	151	1
10	151	164	0
11	164	177	1

Na závěr sestojíme histogram četností, v němž každé třídě přiřadíme její četnost. Histogram četností zobrazen na následujícím na obr. č. 4.5.



Obrázek 4.5 Histogram četnosti rychlosti vozidel (radar č.4)

4.5 Test na exponenciální rozdělení mezer mezi vstupy pro směr Milonice - Černá Hora

Na základě tvaru histogramu (obr. č. 4.2) lze usuzovat, že by se mezery mezi vstupy vozidel pro tento směr mohly řídit exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti. Exponenciální rozdělení pravděpodobnosti je spojité rozdělení definované jedním parametrem $\lambda > 0$. Exponenciální rozdělení se používá pro vyjádření doby mezi událostmi.

Jelikož budu testovat, zda se výběrový soubor řídí exponenciálním rozdělením, potřebujeme odhadnout parametry tohoto rozdělení – parametr λ . Metodou maximální věrohodnosti se dá odvodit, že odhadem parametru λ je převrácená hodnota aritmetického průměru. Můžeme tedy psát:

$$\lambda = \frac{n}{\sum_{i=1}^n x_i}, \quad (4.3)$$

kde:

n ...rozsah souboru,

x_i ...hodnoty statistického souboru.

Dosažením do vzorce (4.3) dostaneme:

$$\lambda = \frac{1543}{11615,18} = 0,133 s^{-1}.$$

Střední délka mezery mezi vstupy vozidel je potom rovna:

$$E(X) = \frac{1}{\lambda}. \quad (4.4)$$

V tomto případě pro střední délku mezery dostáváme:

$$E(X) = \frac{1}{0,133} = 7,528 s.$$

Než přistoupíme k testování hypotézy o exponenciálním rozdělení, je třeba zvolit hladinu významnosti α , nebo-li pravděpodobnost toho, že hypotézu H_0 neoprávněně zamítneme, ačkoliv platí. Hladina významnosti α se přitom stanovuje jako malá hodnota, obvykle 0,05 nebo 0,01. V mém případě použiji pro všechny výpočty $\alpha=0,05$.

Formulace hypotézy:

- Nulová hypotéza H_0 – mezery mezi vstupy vozidel do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se řídí exponenciálním rozdělením s parametrem $\lambda = 0,133 s^{-1}$.
- Alternativní hypotéza H_1 - mezery mezi vstupy vozidel do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se neřídí exponenciálním rozdělením s parametrem $\lambda = 0,133 s^{-1}$.

Výsledky výpočtu hodnoty testové statistiky za předpokladu platnosti nulové hypotézy jsou uvedeny v tabulce č. 4.5.

Tab. č. 4.5 Hodnoty testové statistiky pro mezery mezi vozidly (radar č.3)

třída k	Hranice tříd		Četnost f_i	$F(x_i)$	p_i	$n \cdot p_i$	Četnosti po sloučení f_i	Teoretické četnosti po sloučení $n \cdot p_i$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
1	0	10	1210	0.735	0.735	1134.27	1210	1134.272	5.056
2	10	20	151	0.930	0.195	300.459	151	300.459	74.346
3	20	30	82	0.981	0.052	79.589	82	79.589	0.073
4	30	40	53	0.995	0.014	21.083	53	21.083	48.321
5	40	50	24	0.999	0.004	5.585	47	7.597	204.371
6	50	60	10	1.000	0.001	1.479			
7	60	70	4	1.000	0.000	0.392			
8	70	80	5	1.000	0.000	0.104			
9	80	90	2	1.000	0.000	0.027			
10	90	100	0	1.000	0.000	0.007			
11	100	110	1	1.000	0.000	0.002			
12	110	∞	1	1.000	0.000	0.001			
Σ			1543	1.000					332.167

Pro získání hodnot distribuční funkce $F(x_i)$ použijeme funkci EXPONIDIST. Např.:

$$F(x_1) = \text{EXPONIDIST}(10; 0,133; 1) = 0,735$$

Pro určení pravděpodobnosti p_i v prvním řádku tabulky, platí, že:

$$p_1 = F(x_1) = 0,735.$$

Test lze použít za předpokladu, že všechny hodnoty $n \cdot p_i$ jsou alespoň 5, což znamená, že musí dojít ke sloučení tříd 5 až 12. Taktéž musíme sloučit teoretické četnosti $n \cdot p_i$.

Hodnotu χ^2 vypočítáme dle vzorce:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i} \quad (4.5)$$

dosazením do vzorce (4.5) získáme:

$$\chi^2 = 332,168.$$

Hodnotu vypočítané veličiny χ^2 porovnáme s kritickou hodnotou testu na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Kritickou hodnotu χ^2_{krit} stanovíme jako $(1-\alpha) \cdot 100\%$ -ní kvantil χ^2 rozdělení s počtem stupňů volnosti odpovídajícím počtu tříd sníženého o počet odhadovaných parametrů a o 1. V tomto případě je počet tříd po sloučení je roven 5, byl odhadován jeden parametr, počet stupňů volnosti je tedy roven 3.

Výpočet provedu v Excelu pomocí funkce CHIINV, která nám vrátí hodnotu inverzní funkce k distribuční funkci pro jednostranné rozdělení pravděpodobnosti chí-kvadrát. Dosazením do Excelu získáme:

$$\chi^2_{\text{krit}} = \text{CHIINV}(0,05; 3) = 7,815.$$

O výsledku testu rozhodneme porovnáním vypočítané hodnoty χ^2 a kritické hodnoty testu χ^2_{krit} . Jelikož v tomto případě platí, že $\chi^2 \geq \chi^2_{\text{krit}}$, zamítáme nulovou hypotézu o exponenciálním rozdělení.

4.6 Test na exponenciální rozdělení mezer mezi vstupy pro směr Černá Hora - Milonice

Na základě tvaru histogramu č. 4.3 lze usuzovat, že by se mezery mezi vstupy vozidel pro tento směr mohly řídit exponenciálním rozdělením pravděpodobnosti.

Dosažením do vzorce (4.3) dostaneme:

$$\lambda = \frac{820}{9403,346} = 0,087 \text{ [s]}.$$

V tomto případě pro střední délku mezery dostáváme dosažením do vzorce (4.4):

$$E(X) = \frac{1}{0,087} = 11,494 \text{ s}.$$

Formulace hypotézy:

- Nulová hypotéza H_0 – mezery mezi vstupy vozidel do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se řídí exponenciálním rozdělením s parametrem $\lambda = 0,087 \text{ s}^{-1}$.
- Alternativní hypotéza H_1 - mezery mezi vstupy vozidel do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se neřídí exponenciálním rozdělením s parametrem $\lambda = 0,087 \text{ s}^{-1}$.

Výsledky výpočtu hodnoty testové statistiky za předpokladu platnosti nulové hypotézy jsou uvedeny v tabulce č. 4.6.

Tab. č. 4.6 Hodnoty testové statistiky pro mezery mezi vozidly (radar č.4)

třída k	Hranice tříd		Četnost f_i	$F(x_i)$	p_i	$n \cdot p_i$	Četnosti po sloučení f_i	Teoretické četnosti po sloučení $n \cdot p_i$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
1	0	10	536	0.582	0.582	477.155	536	477.155	7.257
2	10	20	129	0.825	0.243	199.500	129	199.500	24.914
3	20	30	72	0.927	0.102	83.412	72	83.412	1.561
4	30	40	37	0.969	0.043	34.875	37	34.875	0.130
5	40	50	11	0.987	0.018	14.581	11	14.581	0.880
6	50	60	15	0.995	0.007	6.096			
7	60	70	10	0.998	0.003	2.549			

8	70	80	5	0.999	0.001	1.066	35	10.477	57.401
9	80	90	2	1.000	0.001	0.446			
10	90	100	2	1.000	0.000	0.186			
11	100	∞	1	1.000	0.000	0.134			
Σ	820			1.000			92.142		

Pro získání hodnot distribuční funkce $F(x_i)$ použijeme funkci EXPONIDIST. Např.:

$$F(x_1) = \text{EXPONIDIST}(10; 0,087; 1) = 0,582$$

Pro určení pravděpodobnosti p_i v prvním řádku tabulky platí, že:

$$p_1 = F(x_1) = 0,582$$

Jelikož ani v tomto případě nejsou všechny hodnoty $n \cdot p_i$ alespoň 5, což znamená, že musí dojít ke sloučení tříd 7 až 11. Taktéž musíme sloučit teoretické četnosti $n \cdot p_i$.

Dosazením do vzorce (4.5) získáme:

$$\chi^2 = 92,142.$$

Hodnotu veličiny χ^2 opět porovnávám s kritickou hodnotou exponenciálního rozdělení chí-kvadrát na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

Výpočet provedu v Excelu pomocí funkce CHIINV dosazením získáme:

$$\chi^2_{krit} = \text{CHIINV}(0,05; 4) = 9,488.$$

O výsledku testu opět rozhodneme porovnáním vypočítané hodnoty χ^2 a kritické hodnoty testu χ^2_{krit} . Jelikož v tomto případě platí, že $\chi^2 \geq \chi^2_{krit}$, zamítáme nulovou hypotézu o exponenciálním rozdělení.

4.7 Test na normální rozdělení rychlostí vozidel pro směr Milonice - Černá Hora

Jelikož budu testovat, zda se výběrový soubor řídí normálním rozdělením, potřebujeme odhadnout parametry tohoto rozdělení a to střední hodnotou μ a rozptyl σ^2 . Metodou maximální věrohodnosti lze dokázat, že pro odhad parametru μ platí:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4.6)$$

kde:

x_i ...hodnoty statistického souboru,

n ...rozsah souboru.

Pro odhad parametru σ^2 pomocí metody maximální věrohodnosti platí:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (4.7)$$

kde:

x_i ... hodnoty statistického souboru,

n ...rozsah souboru,

\bar{x} ...výběrový průměr.

Odhad střední hodnoty normálního rozdělení získáme v Excelu pomocí funkce PRŮMĚR, odhad směrodatné odchylky normálního rozdělení pomocí funkce SMODCH, rozptyl získáme umocněním směrodatné odchylky.

Dosazením do vztahu (4.6) pro odhad střední hodnoty dostaneme:

$$\mu = \frac{1}{1540} \sum_{i=1}^{1540} x_i = \frac{105708,1}{1542} = 68,553 \text{ km/h}$$

Dosazením do vztahu (4.7) pro odhad rozptylu dostaneme:

$$\sigma^2 = \frac{1}{1540} \sum_{i=1}^{1540} (x_i - 68,553)^2 = \frac{156394,7}{1540} = 101,423 \text{ km}^2/\text{h}^2,$$

Formulace hypotézy:

- Nulová hypotéza H_0 – rychlosti vozidel vstupujících do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se řídí normálním rozdělením s parametry $\mu = 68,553 \text{ km/h}$ a $\sigma^2 = 101,423 \text{ km}^2/\text{h}^2$.
- Alternativní hypotéza H_1 - rychlosti vozidel vstupujících do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se neřídí normálním rozdělením s parametry $\mu = 68,553 \text{ km/h}$ a $\sigma^2 = 101,423 \text{ km}^2/\text{h}^2$.

Výsledky výpočtu hodnoty testové statistiky za předpokladu platnosti nulové hypotézy jsou uvedeny v tabulce č. 4.7.

Tab. č. 4.7 Hodnoty testové statistiky pro rychlost vozidel (radar č.3)

třída k	Hranice tříd		Četnos t f_i	$F(x_i)$	p_i	$n \cdot p_i$	Četnosti po sloučení \bar{f}_i	Teoretick é četnosti po sloučení $n \cdot p_i$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
1	$-\infty$	39	7	0.002	0.002	2.573	7	2.573	7.618
2	39	46	20	0.013	0.011	16.778	20	16.778	0.619
3	46	53	64	0.061	0.049	74.984	64	74.984	1.609
4	53	60	168	0.198	0.137	210.391	168	210.391	8.541
5	60	67	412	0.439	0.241	370.932	412	370.932	4.547
6	67	74	444	0.706	0.267	411.140	444	411.140	2.626
7	74	81	290	0.892	0.186	286.521	290	286.521	0.042
8	81	88	89	0.973	0.081	125.503	89	125.503	10.617
9	88	95	33	0.996	0.022	34.527	33	34.527	0.068
10	95	102	6	1.000	0.004	5.960	15	6.650	10.484
11	102	109	7	1.000	0.000	0.645			
12	109	∞	2	1.000	0.000	0.046			
Σ			1540		1.000	1540			46.771

Pro získání hodnot distribuční funkce $F(x_i)$ použijeme funkci NORMDIST. Např.:

$$F(x_1) = \text{NORMDIST}(39; 68,533; 101,423; 1) = 0,002$$

Pro určení pravděpodobnosti p_i v prvním řádku tabulky, platí, že:

$$p_I = F(x_I) = 0,002.$$

V tomto případě je počet tříd po sloučení roven 10, byly odhadovány parametry, počet stupňů volnosti je tedy roven 7.

Dosazením do vzorce (4.5) získáme:

$$\chi^2 = 46,771.$$

Hodnotu vypočítané veličiny χ^2 porovnáme s kritickou hodnotou testu na hladině významnosti $\alpha=0,05$.

Výpočet provedu v Excelu pomocí funkce CHIINV dosazením získáme:

$$\chi_{krit}^2 = \text{CHIINV}(0,05; 7) = 14,067.$$

O výsledku testu opět rozhodneme porovnáním vypočítané hodnoty χ^2 a kritické hodnoty testu χ_{krit}^2 . Jelikož i v tomto případě platí, že $\chi^2 \geq \chi_{krit}^2$, zamítáme nulovou hypotézu o exponenciálním rozdělení.

4.8 Test na normální rozdělení rychlostí vozidel pro směr Černá Hora - Milonice

Odhad střední hodnoty normálního rozdělení získáme v Excelu pomocí funkce PRŮMĚR odhad směrodatné odchylky normálního rozdělení pomocí funkce SMODCH, rozptyl získáme umocněním směrodatné odchylky.

Dosazením do vztahu (4.5) pro odhad střední hodnoty dostaneme:

$$\mu = \frac{1}{817} \sum_{i=1}^{817} x_i = \frac{59144,3}{817} = 72,392 \text{ km/h.}$$

Dosazením do vztahu (4.6) pro odhad rozptylu dostaneme:

$$\sigma^2 = \frac{1}{817} \sum_{i=1}^{817} (x_i - 72,392)^2 = \frac{120674}{817} = 147,705 \text{ km}^2/\text{h}^2,$$

Formulace hypotézy:

- Nulová hypotéza H_0 – rychlosti vozidel vstupujících do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se řídí normálním rozdělením s parametry $\mu = 72,392 \text{ km/h}$ a $\sigma^2 = 147,705 \text{ km}^2/\text{h}^2$.
- Alternativní hypotéza H_1 - rychlosti vozidel vstupujících do modelovaného úseku ve směru Milonice – Černá Hora se neřídí normálním rozdělením s parametry $\mu = 72,392 \text{ km/h}$ a $\sigma^2 = 147,705 \text{ km}^2/\text{h}^2$.

Výsledky výpočtu hodnoty testové statistiky za předpokladu platnosti nulové hypotézy jsou uvedeny v tabulce č. 4.8.

Tab. č. 4.8 Hodnoty testové statistiky pro rychlost vozidel (radar č.4)

třída k	Hranice tříd		Četnost f_i	$F(x_i)$	p_i	$n \cdot p_i$	Četnosti po sloučení f_i	Teoretické četnosti po sloučení $n \cdot p_i$	$\frac{(f_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}$
1	$-\infty$	47	9	0.018	0.018	14.985	9	14.985	2.390
2	47	60	105	0.154	0.136	110.795	105	110.795	0.303
3	60	73	328	0.520	0.366	299.021	328	299.021	2.808
4	73	86	284	0.869	0.349	284.827	284	284.827	0.002
5	86	99	78	0.986	0.117	95.701	78	95.701	3.274
6	99	112	9	0.999	0.014	11.215	14	11.671	0.465
7	112	125	3	1.000	0.001	0.451			
8	125	138	0	1.000	0.000	0.006			
9	138	151	1	1.000	0.000	0.000			
10	151	164	0	1.000	0.000	0.000			
11	164	∞	1	1.000	0.000	0.000			
Σ			817		1.000	817			9.24262

Pro získání hodnot distribuční funkce $F(x_i)$ použijeme funkci NORMDIST. Např.:

$$F(x_1) = \text{NORMDIST}(60; 72,392; 147,705; 1) = 0,018.$$

Pro určení pravděpodobnosti p_i v prvním řádku tabulky platí, že:

$$p_1 = F(x_1) = 0,018.$$

V tomto případě je počet tříd po sloučení roven 7, byly odhadovány parametry, počet stupňů volnosti je tedy roven 3.

Dosazením do vzorce (4.5) získáme:

$$\chi^2 = 9,243.$$

Hodnotu vypočítané veličiny χ^2 porovnáme s kritickou hodnotou testu na hladině významnosti $\alpha=0,05$. Výpočet provedu v Excelu pomocí funkce CHIINV dosazením získáme:

$$\chi_{krit}^2 = \text{CHIINV}(0,05; 3) = 7,815.$$

O výsledku testu opět rozhodneme porovnáním vypočítané hodnoty χ^2 a kritické hodnoty testu χ_{krit}^2 . Jelikož i v tomto případě platí, že $\chi^2 \geq \chi_{krit}^2$, zamítáme nulovou hypotézu o exponenciálním rozdělení.

4.9 Závěr z analýzy vstupních údajů

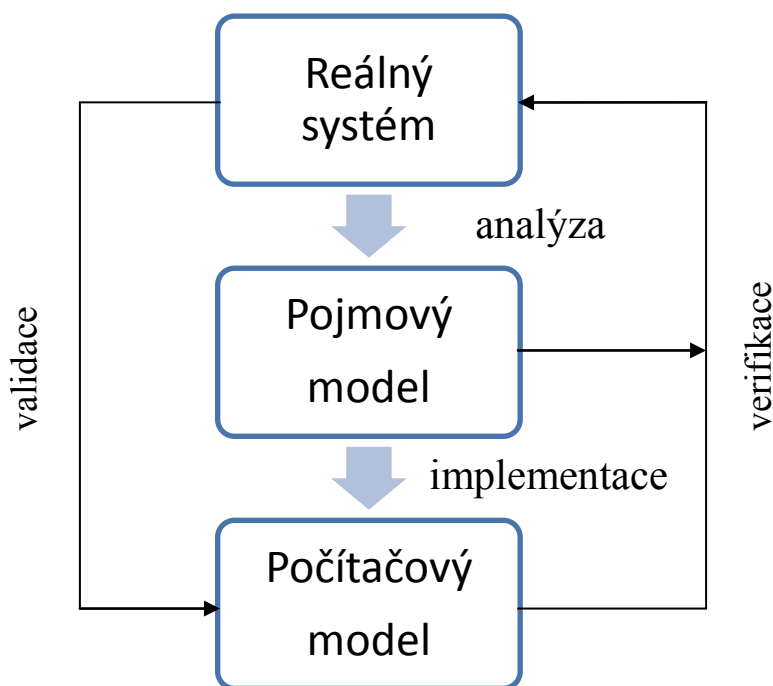
Po provedení testu hypotéz z výsledků vyplývá, že mezery mezi vozidly a jejich vstupními rychlostmi se neřídí teoretickými rozděleními a bude tedy nutné, při modelování, implementovat histogramy četností a použít je pro vlastní rozdělení, jimiž se bude pohyb vozidel v modelu řídit.

5 NÁVRH MODELU

Chceme-li zjišťovat chování reálného systému, musíme navrhnout jeho model. Zpravidla rozlišujeme dvě fáze návrhu:

- **Návrh pojmového modelu** – jestliže popíšeme specifikace modelovaného systému pomocí verbálního nebo matematického aparátu. Dostaneme popis na určité míře abstrakce.
- **Návrh a implementace počítačového modelu** – převedením pojmového modelu do počítačového prostředí, získáme simulaci chování systému při stanovené míře abstrakce.

Etapy návrhu modelu a jeho implementace je znázorněna obrázku č. 5.1.



Obrázek 5.1 Schéma tvorby modelu

Při tvorbě pojmového modelu lze použít několik způsobů. Popis modelu musí obsahovat všechny důležité informace, kterými popíšeme charakteristické rysy chování modelovaného systému.

Možné způsoby jsou:

- **verbální popis** – srozumitelný, nejméně přesný a může obsahovat protiřečení, avšak nemusí být konzistentní
- **schematický popis** – je jednoznačný, proto se používá pro systémy s charakteristickou strukturou, ale musí být popsáno chování jednotlivých komponentů.
- **vývojový diagram** – je vhodnější pro implementaci, používá se v případě grafického znázornění chování systému.
- **matematický popis** – je nejpřesnějším jednoznačným popisem s jasnou schematikou. Nejčastější použití nachází v oblastech, které je možno popsat soustavou matematických vztahů. [7]

Při tvorbě modelu je snahou o co nejpřesnější popis zkoumaného systému. Simulace se zabývá pouze dynamickými modely.

V rámci implementace je pojmový model přetransformován do počítačového prostředí simulačního programu Witness. Při transformaci je chování modelu ovlivněno zvolenou mírou abstrakce i chováním reálného systému.

Verifikace – je ověření platnosti a vlastností funkcí modelu. Splňuje jednotlivé specifické požadavky na použití. Verifikaci dokazujeme nebo vyvracíme správnost modelovaného systému za pomoci matematických metod.

Validace - je potvrzení přezkoušením. Validace poskytuje důkaz, že jsou splněny specifické požadavky a zároveň tím získáme potvrzení o tom, že modelovaný systém je vhodný pro konkrétní použití.

5.2 Pojmový model

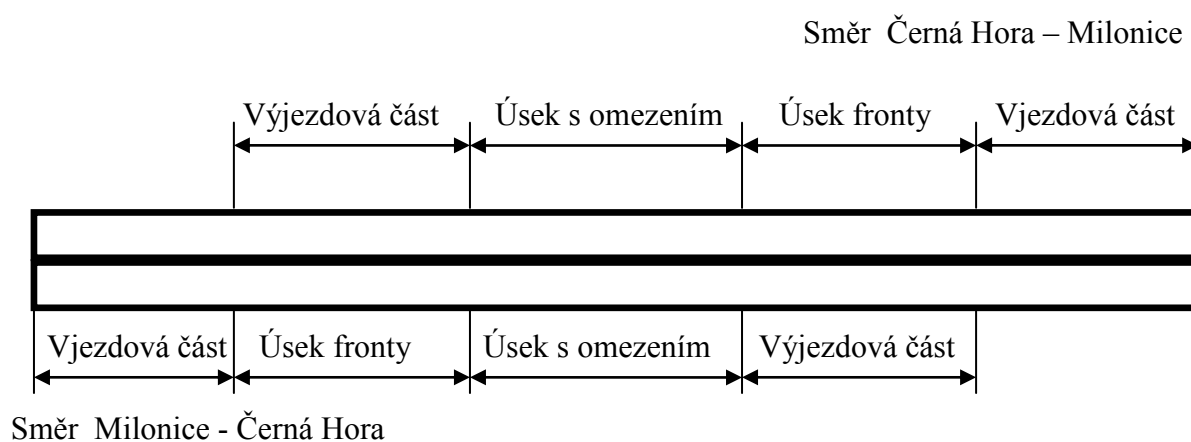
Objektem modelování je úsek silniční komunikace. Jak již bylo uvedeno, jedná se o směrově rozdělenou komunikaci. V modelu jsou rozděleny oba jízdní pruhy a to takovým způsobem, že nedochází k vzájemnému ovlivňování. Dále model nepřipouští předjíždění vozidel, jelikož to dopravní značení nedovolují.

Do modelu vstupují vozidla rozdělená do dvou skupin. První skupinou jsou vozidla označována jako osobní, mezi něž zařazují osobní vozidla a motocykly a druhou skupinou jsou ostatní, mezi něž patří všechny ostatní typy vozidel. Vstupní toky vozidel jsou po

zpracování dat modelovány pro každý jízdní pruh (směr) samostatně. Z průzkumu RPDI provedeném v roce 2005 vychází předpoklad, že počet nákladních vozidel a osobních vozidel je v poměru 25,2 : 74,8 %.

Nejedná se o uzavřený systém, protože do modelu vstupují vozidla z obou směrů, přičemž na konci úseku systém opouští. Celková délka sledovaného úseku je 3,6 km. Pro potřeby simulace byla rozdělena na tři části. K tomu byl navíc vytvořen úsek před sledovaným úsekem, který zamezuje odmítání vozidel vjíždějících do sledovaného úseku v případě, že kapacita modelovaného úseku bude již vyčerpána. První část úseku měří 1750 m. V úseku se předpokládá tvorba fronty přijíždějících vozidel z důvodu simulovaných omezení v navazujícím úseku. Další úsek o délce 100 m slouží pro modelování dopravních omezení. Poslední částí je výjezdová část úseku. Dále je třeba zajistit, aby se v daném úseku nevyskytovalo více vozidel než je schopen pojmout.

Schéma rozdělení modelovaného úseku na jednotlivé je znázorněno na obrázku č. 5.2.



Obrázek 5.2 Schéma rozdělení modelovaného úseku

Vysvětlivky k obrázku č. 5.2:

Výjezdová část – část komunikace před sledovaným úsekem

Úsek fronty – úsek komunikace, sloužící pro tvorbu fronty

Úsek s omezením – úsek komunikace s možným omezením

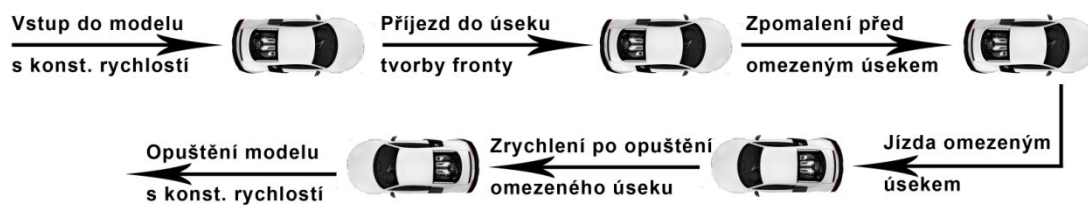
Výjezdová část - výjezdová část komunikace

Pojmový model je uveden na obrázku č. 5.3. Podrobné vysvětlení se nachází v kapitole 7.2

Směr Milonice - Černá Hora



Směr Černá Hora - Milonice



Obrázek 5.3 Pojmový model vybraného úseku

6 SIMULAČNÍ PROGRAM WITNESS

Program Witness 2008 byl vytvořen britskou společností Lanner Group. Witness je specializovaný simulační software obsahujících mnoho funkcí vhodných pro různé druhy uživatelů. Aplikovatelnost uvedená výrobcem zahrnuje mnoho oblastí.

Jako příklad lze uvést:

- výroba (plánování kapacit, sledování kvality, identifikace úzkých míst ve výrobě atd.),
- technologie (plnění a stáčení operace, optimalizace chemických procesů atd.),
- služby (optimalizace využití pracovních sil, analýza obslužných časů atd.) a jiných procesů z oblastí logistiky.

Program umožňuje propojení na různé systémy, např. CAD/CAM a tím přenést do programu podklady z jiných oblastí podniku. Jednou z významných funkcí je přístup k souborům aplikace Microsoft Excel. Celkové prostředí programu je složeno z dialogových oken, která umožňují přehledné ovládání. Jádro systému WITNESS doplňují moduly pro optimalizaci procesů, zobrazení v prostředí virtuální reality, pro snadnou oboustrannou výměnu informací mezi nástroji WITNESS a Microsoft VISIO, propojení s CAD/CAM systémy, dokumentaci modelů a získávání znalostí z rozsáhlých souborů dat. Program prochází neustálým vývojem a nové verze jsou vždy obohaceny o nové možnosti, ovládací prvky a rozšiřitelné moduly. Jelikož jednou z důležitých fází simulace je i ta konečná, tedy zhodnocení výsledků představení výsledků simulačního procesu vedoucím pracovníkům, je připraven i modul WITNESS Scenario Manager, který slouží pro návrh a vyhodnocení simulačních experimentů. [10]

Simulační program využívá:

- 1) Prvky, které se dále dělí na:
 - a) diskrétní elementy
 - b) logické elementy
 - c) grafické elementy
- 2) Vstupní a výstupní pravidla, které slouží pro modelování vazeb mezi jednotlivými prvky.
- 3) Akce, které slouží například k provádění výpočtů.

7 SIMULAČNÍ MODEL

Jednotlivé prvky použité v modelu vycházejí ze zjednodušeného schématu modelu. V simulačním prostředí Witness byly použity následující prvky: „Part“, „Buffer“, „Machine“, „Variables“, „Pie“, „Path“, „Function“, „Random Distribution“. Uvedené prvky bylo nutno přizpůsobit podmínkám potřebným pro správný chod modelu.

Jednotlivé části úseků silniční komunikace jsou formálně odděleny stroji, jejichž cílem je zamezení vjezdu vozidel do některé z částí v případech, kdy je natolik využita délka následujícího úseku, že další vygenerované vozidlo do něj vstupující bude mít délku větší než je zbylá nevyužitá délka úseku.

Modelovaný úsek je rozdělen na 3 části. Celková délka sledovaného úseku 3,6 km je rozdělena v obou směrech na úseky o stejné délce - úsek fronty o délce 1750 m, úsek s omezením, který má 100 m a výjezdovou část s délkou 1750 m. Pro názornost popisují pouze jeden směr Milonice – Černá Hora (M_C), pro druhý směr Černá Hora – Milonice (C_M) je nastavení analogické.

Pro modelování pohybu vozidel v jednotlivých částech modelovaného úseku lze využít buď prvky zásobník („Buffer“) nebo prvky cesta („Path“). Všechna vozidla vstupují do modelu prostřednictvím zásobníku „Vjezdova_cast_M_C“, který představuje úsek komunikace před samotným sledovaným úsekem. Důvodem pro umístění zásobníku je, aby nedocházelo k odmítání vozidel v případech, kdy v části komunikace znázorněné zásobníkem nebo cestou „Usek_fronty_M_C“ bude plně využita kapacita. Mezi vjezdovou částí a úsekem určeným k tvorbě fronty je umístěn stroj „Machine001“. Jeho úkolem je posílat vozidla do úseku v případě, že nebyla vyčerpána kapacita navazujícího úseku. V opačném případě stroj čeká až do doby, kdy je možné vozidlo poslat do následujícího úseku. V prvku „Usek_fronty_M_C“ se může najednou vyskytovat omezený počet vozidel, plynoucí z délky tohoto úseku a z délek vozidel nacházejících se v tomto úseku. Přičemž uvažujeme, že jedno osobní vozidlo má délku 5 m a k ní je přičtena mezera 1 m mezi vozidly. Pro jednu jízdní soupravu je počítáno s délkou 15 m a mezerou 2 m mezi vozidly.

Po opuštění úseku komunikace určenou pro tvorbu fronty vjíždějí vozidla do úseku s omezením tvořeného zásobníkem nebo cestou „Usek_s_omezenim_M_C“ přes stroj „Machine003“, který má stejnou funkci jako v předchozí části. Z omezeného úseku vjíždějí

vozidla přes stroj „Machine004“ do zásobníku nebo cesty „Vyjezd_cast_M_C“ tvořícího výjezdovou část. Vozidla model opouštějí pomocí stroje „Machine005“.

V opačném směru, tedy ve směru Černá Hora – Milovice je model vytvořen analogicky, jediným rozdílem jsou názvy součástí silničních vozidel a zásobníku nebo cest, jejichž názvy jsou pro přehlednost ukončeny C_M.

7.1 Prvky použité v modelu

V této podkapitole budou stručně popsány prvky simulačního software Witness, které byly použity při tvorbě modelu.

Součást („Part“) může představovat cokoli, co představuje prvky pohybující se v modelu (např. vozidla)

Součásti mohou do modelu vstupovat několika způsoby:

- a) Dle vstupního pravidla mohou být taženy do modelu neomezeně ve kterémkoliv okamžiku simulace.
- b) Mohou vstupovat do modelu v definovaném intervalu.
- c) Součásti mohou vstupovat dle času vstupů pomocí externího zdroje dat.

Součást představuje vozidlo, které projede sledovaným úsekem komunikace.

Zásobník („Buffer“) si můžeme představit jako frontu součástí např. vozidla čekající na čerpací stanici. Výběr součástí uvnitř zásobníků se může řídit frontovým režimem FIFO (first in, first out), tedy součást, která jako první vstoupí do zásobníku, opustí zásobník jako první. Frontový režim FIFO nám zajistí, že nebude docházet k předjíždění vozidel. Zásobníku lze přidělit kapacitu, dobu zdržení součástí v zásobníku apod. Zásobníky v modelu znázorňují úseky komunikace. Doba pobytu v zásobníku je závislá na délce úseku a rychlosti vozidla.

Stroj („Machine“) pouze řídí počet vozidel v zásobníku nebo na cestě, doba pobytu ve strojích je rovna nule. V případech zaplnění kapacity následujícího úseku dochází ke zdržení vozidel, což je zajišťováno pomocí strojů.

Cesta („Path“) slouží k modelování pohybu součástí mezi jednotlivými prvky simulačního modelu. Cesty lze tedy použít pro modelování jízdy vozidel v jednotlivých úsecích. Nevýhodou cest je skutečnost, že u nastavení cesty nelze nastavit, že první součást, která do úseku vstoupila, úsek opustí jako první (nejedná se tedy o FIFO režim). Toto je třeba realizovat jiným způsobem.

Koláčový graf („Pie“) slouží k zobrazování simulačních výsledků a rovněž umožňuje provádět pomocné výpočty v pravidelných intervalech. V práci jsou použity pro realizaci těchto výpočtů.

Funkce („Function“) slouží k vytvoření uživatelsky definovaných funkcí.

Simulaci jízdy vozidel by nebylo možné modelovat bez pomoci použití atributů. Atributy („Attributes“) součásti přiřadují určitou vlastnost. V modelu je pomocí atributů přiřazena součásti délka a rychlost.

Pro modelování doby zdržení a délky úseků bylo využito proměnných. Proměnné (Variables) použité v diplomové práci jsou typu real (reálná) nebo integer (celočíslná). Typ proměnné závisí na hodnotách, které bude proměnné nabývat během simulace.

Pro vytvoření vlastního spojitého rozdělení pravděpodobnosti slouží prvek spojitě rozdělení („RDist“).

V rámci práce byly vytvořeny dva simulační modely lišící se ve způsobu modelování jízdy vozidel v jednotlivých úsecích. V prvním modelu byly použity zásobníky. V druhém modelu byly použity cesty. Věnujme se nyní podrobnému popisu nastavení jednotlivých modelů.

7.2 Simulační model 1 – varianta s použitím zásobníků

V této podkapitole bude podrobně popsáno nastavení pro směr Milonice – Černá Hora. Nastavení pro druhý směr je analogické.

Pohyb vozidel ve sledovaném úseku je znázorněn pohybem součástí „Vozidla_M_C“. Jedná se o aktivní součást, odstup mezi součástmi vstupujícími do modelu znázorňující mezeru mezi vstupy vozidel do sledovaného úseku je zajištěn příkazem:

Mezera_M_C()/ 60

v „Interval Arrival Time“ (viz obr. č. 7.1). Jelikož jsou hodnoty mezer v jednotkách [s], je nutné provést přepočet na minuty, proto je nutné mezeru dělit hodnotou 60, neboť Witness používá jako základní časovou jednotku minutu. Jelikož se hodnoty mezer nemohou řídit exponenciálním rozdělením, bylo nutno vytvořit rozdělení vlastní. Toto spojitě rozdělení bylo vytvořeno na základě histogramu (kapitola 4.2) a je pojmenováno „Mezera_M_C“. Nastavení rozdělení je znázorněno na obrázku č. 7.2

Detail Part - Vozidla_M_C

General | Attributes | Route | Actions | Costing | Reporting | Notes

Name: Vozidla_M_C

Arrivals

Type: Active

Maximum Arrivals: Unlimited

First Arrival At: 0.0

Shift: Undefined

Input to Model

Inter Arrival Time: Mezera_M_C () / 60

Lot Size: 1

To...

Push

Actions on Create... ✓

Exit From Model

Actions on Leave... ✕

OK Stomo nápověda

Obrázek 7.1 Nastavení součásti reprezentující osobní vozidla

Detail Distribution - Mezera_M_C

General | Actions | Notes

Name: Mezera_M_C

Type: Continuous Real

Import from file

Import from Excel

Cells:

Value:	Weight:
0.14	0
10	1210
20	151
30	82
40	53
50	24
60	10
70	4
80	5

Add

Remove

Update

Value: 0.14

Weight: 0

OK Stomo nápověda

Obrázek 7.2 Histogram četností mezer mezi vozidly pro směr Milonice – Černá hora

Součást „Vozidla_M_C“ je definována jako aktivní prvek, jemuž je při vstupu do modelu vygenerována rychlost a délka vozidla. Při vytvoření součásti je uvažováno, že se jedná o osobní vozidlo a jsou mu přiřazeny parametry osobního vozidla. Vygeneruje-li se však hodnota z rovnoměrného rozdělení pravděpodobnosti z intervalu (0,1) větší než 0,748 (podíl osobních vozidel), potom se jedná o nákladní vozidla a jsou mu přiřazeny příslušné parametry. Hodnota 0,748 vychází z poměru hodnot denního průměru intenzit dopravy při sčítání v roce 2005 na tomto úseku. Pro snadné odlišení osobních a nákladních vozidel dojde k barevnému rozlišení součásti pomocí příkazu „Icon“. Celý proces se provádí následujícím zápisem v „Actions on Create“ v nastavení součásti „Vozidla M_C“:

Atr_rychlosti = Rychlost_M_C ()

Delka (1) = 6

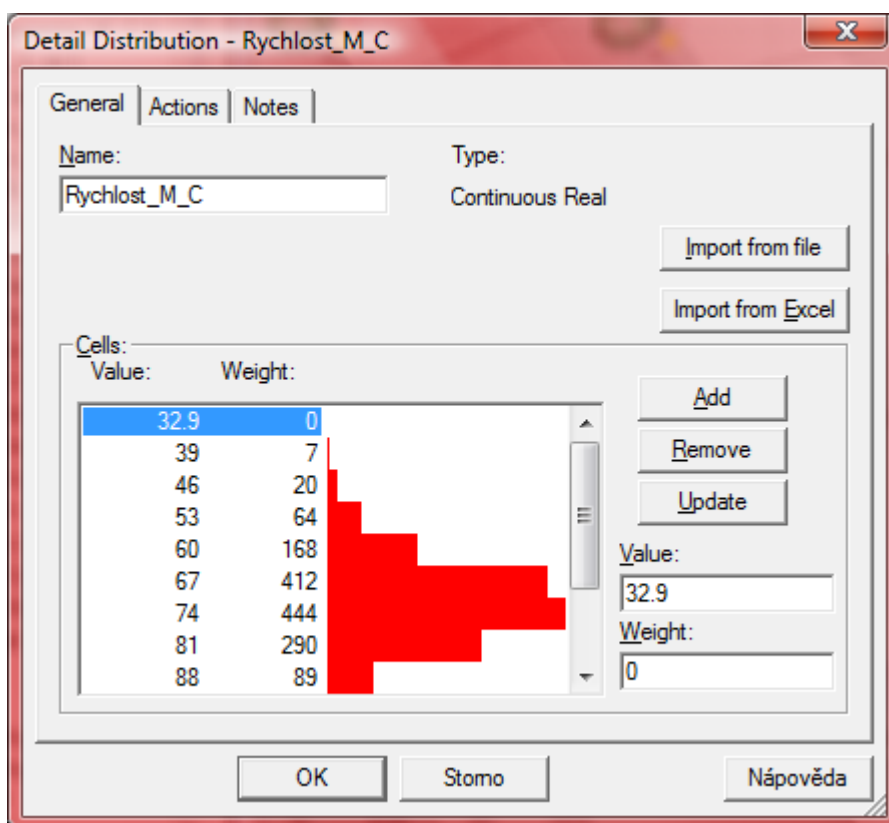
IF UNIFORM (0,1) > 0.748

ICON = 25

Delka (1) = 17

ENDIF

Pomocí atributu typu „Integer“ s názvem „delka“ se přiřazuje délka vozidel. Dalším reálným atributem je „Atr_rychlosti“, jemuž vozidlu přiřazujeme příslušnou rychlost. Ta vychází z hodnot provedeného měření. Jelikož z výsledků kapitoly č. 4. Analýza vstupních údajů plyne, že rychlosti vozidel se neřídí normálním rozdělením, je nutno použít rozdělení vlastní, které je pojmenováno „Rychlost_M_C“. Nastavení rozdělení je znázorněno na obrázku č. 7.3

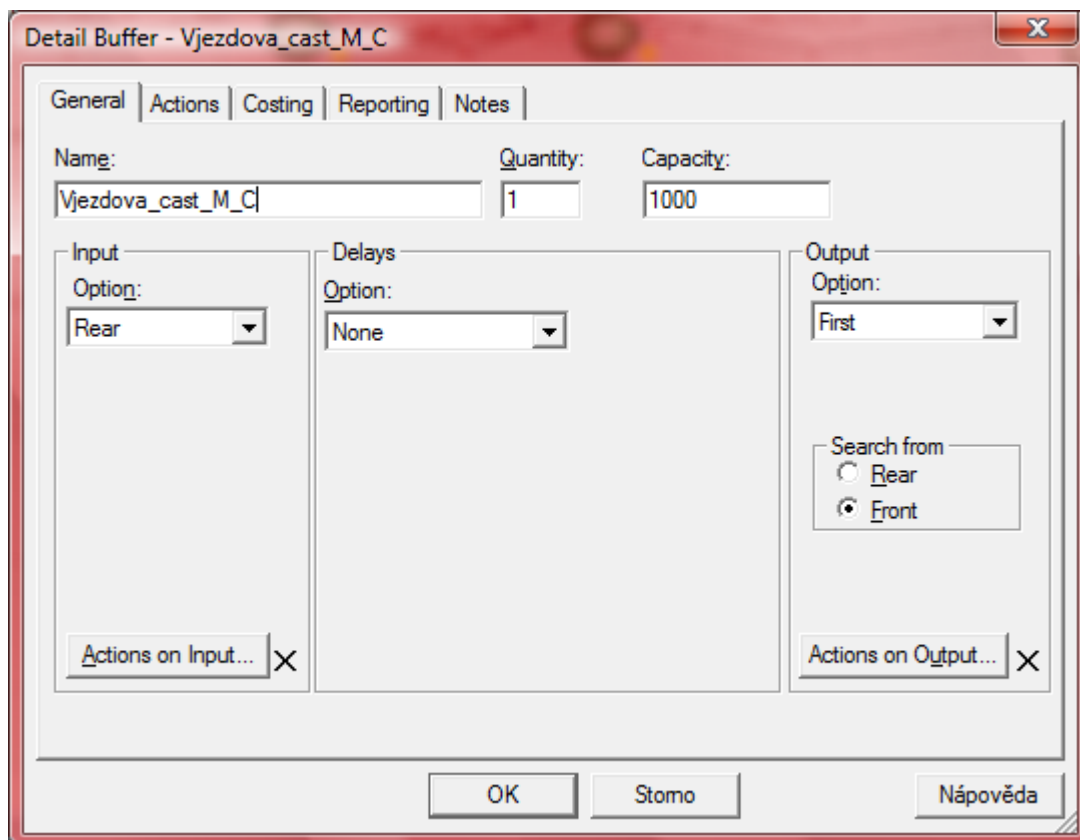


Obrázek 7.3 Histogram četností pro rychlost ve směru Milonice – Černá Hora

Vozidla vstupují pomocí pravidla

PUSH to Vjezdova_cast_M_C

do prvního zásobníku „Vjezdova_cast_M_C“ představujícího silniční úsek, který předchází modelovanému úseku silnice. Tento úsek slouží k tomu, aby v případech, kdy bude zcela využita kapacita následujícího úseku, nedocházelo k odmítání vozidel na vstupu do modelu (nastavení zásobníku viz obr. č. 7.4). V případech, že vozidlo může plynule pokračovat do následujícího úseku, je jeho zdržení v zásobníku „Vjezdova_cast_M_C“ nulové.



Obrázek 7.4 Nastavení zásobníku ve vjezdové části

Mezi zásobníky jsou vloženy pomocné stroje. Prvním pomocným strojem pro směr Milonice – Černá Hora je stroj „Machine001“. Jeho úkolem je výběr součástí z předchozího zásobníku, což se provádí se zápisem

PULL from Vjezdova_cast_M_C

a poté je přemístí do následujícího zásobníku. Doba pobytu ve strojích je rovna nule. Nastavení stroje „Machine001“ je znázorněno na obrázku č. 7.5.

Obrázek 7.5 Nastavení stroje (Machine001)

V tomto modelu vozidla postupně projíždějí jednotlivé silniční úseky. Z toho plyne jeden z dalších úkolů stroje. V případě, je-li plně využita kapacita délky následujícího zásobníku, stroj čeká do doby, než je umožněno aktuálně zpracovanému vozidlu obsadit místo v následujícím zásobníku. Toto je zajištěno ve výstupním pravidle stroje pomocí následujícího zápisu:

```
IF Vyuz_delka_M_C (I) + Delka (I) <= Delka_useku_M_C (I)
  PUSH to Usek_fronty_M_C
ELSE
  Wait
ENDIF
```

Tento způsob zápisu je použit u všech strojů, včetně těch, které modelují opačný směr. Hodnota proměnné „Vyuz_delka“, která je reálnou proměnnou („Real Variable“), pro každý úsek vyjadřuje aktuální využitou kapacitu daného úseku jako celkový součet délek vozidel včetně mezer mezi nimi nacházejících se v daném úseku.

V modelu musí být zajištěno, aby využitá kapacita úseku nepřekročila hodnotu proměnné „Delka_useku_M_C“. „Delka_useku_M_C“ je reálná proměnná, ve které jsou uloženy hodnoty délek úseků a inicializace hodnot je provedena v inicializačních akcích („Initialize Actions“) zápisem:

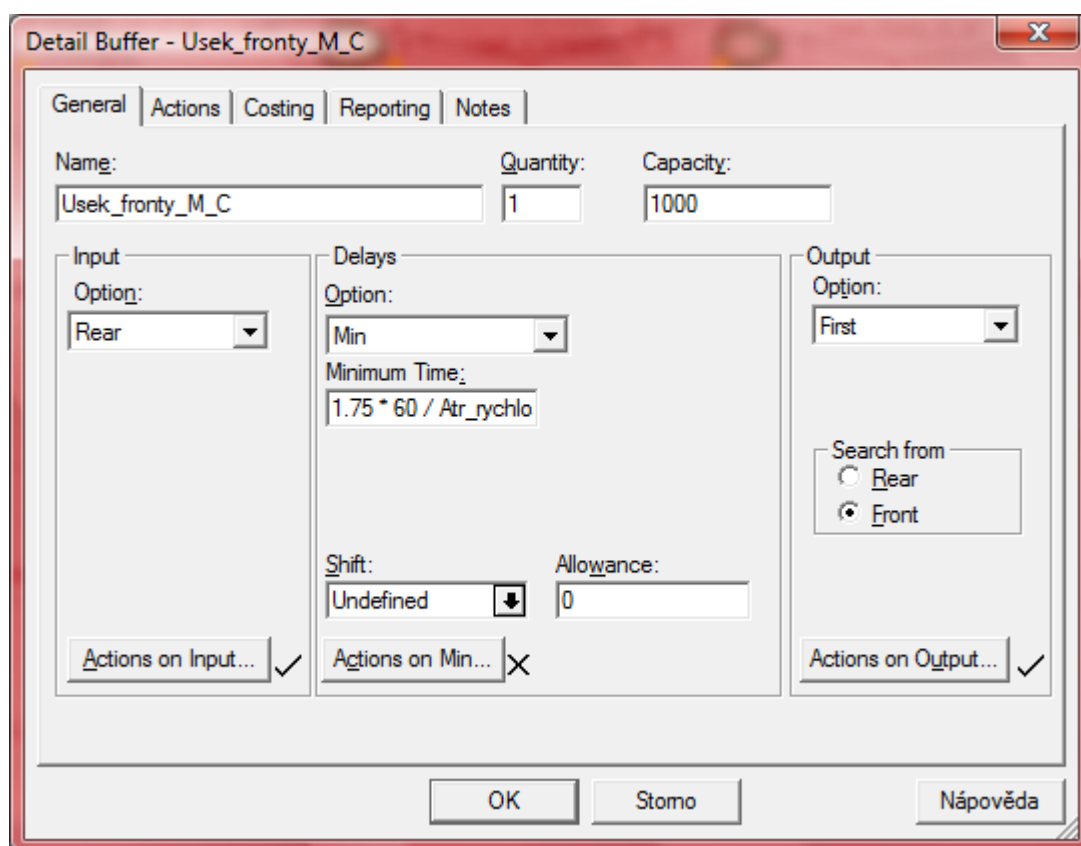
$Delka_useku_M_C (1) = 1750$

$Delka_useku_M_C (2) = 100$

$Delka_useku_M_C (3) = 1750$

Další úsek o délce 1750 m je modelován zásobníkem „Usek_fronty_M_C“. Celkový počet vozidel, který se může nacházet v tomto úseku, závisí na typu vozidel, které daným úsekem projíždí. Doba minimálního zdržení je závislá na rychlosti vozidla projíždějícího tento úsek. Doba zdržení je zapsána v okně s názvem „Delays“, tedy označení pro minimální dobu zdržení (viz obr. č. 16). Z důvodů správnosti jednotek je nutné provést vynásobení 60, jelikož rychlost je v km.h^{-1} a základní časovou jednotkou simulace je minuta. Předpokladem pro výpočet minimálního zdržení („Minimum Time“) je rovnoměrný pohyb vozidla pohybující se průměrnou rychlostí plynoucí z naměřené hodnoty. Zápis pro výpočet minimální doby zdržení je následující:

$1.75 * 60 / Atr_rychlosti.$



Obrázek 7.6 Nastavení zásobníku úseku fronty

Z logiky věci vyplývá, že vstoupí-li vozidlo do úseku fronty, obsadí svou délkou jeho určitou část. Proto, aby se v úseku nenacházelo více vozidel, než je jejich celková délka, je v zásobnících realizován výpočet aktuální využití kapacity úseku. Při vstupu se k současné využití délce přičte aktuální délka vstupujícího vozidla a při opuštění úseku dojde k odečtení délky vozidla opouštějící úsek.

Výpočty jsou zapsány následujícím způsobem:

Actions on Input

$Vyuz_delka_M_C(I) = Vyuz_delka_M_C(I) + Delka(I)$

BREAKDOWN (Machine001)

$Pomocna(I) = 1$

Actions on Output

$Vyuz_delka_M_C(I) = Vyuz_delka_M_C(I) - Delka(I)$

Dále je nutno zajistit minimální rozestupy mezi vozidly vstupujícími do daného úseku, to je realizováno následujícím postupem. Při vstupu součásti do zásobníku modelujícího daný úsek je příkazem „BREAKDOWN“ vyvolána porucha předcházejícího stroje modelujícího rozhraní mezi jednotlivými úseky. Během této poruchy nemůže do daného úseku vstoupit dané vozidlo. Dále je třeba zajistit, aby porucha tohoto stroje trvala pouze omezenou dobu a to 2 s (doporučený rozestup mezi vozidly při rychlosti 90 km/h dle Observatoře bezpečnosti silničního provozu). Toto je realizováno pomocí pomocné součásti „Obecna_soucast“, příslušného pomocného stroje „Machine009“ a příslušné pomocné proměnné „Pomocna“. Při poruše stroje „Machine001“ je nastavena příslušná hodnota proměnné „Pomocna“ na hodnotu 1. Vstupní pravidlo pomocného stroje „Machine009“ je ve tvaru:

IF Pomocna(I) = 1

PULL from obecna_soucast out of WORLD

ELSE

Wait

ENDIF

Ze zápisu je tedy zřejmé, že v okamžiku, kdy je příslušná hodnota proměnné „Pomocna“, nastavena na 1, dojde ke vstupu součásti „Obecna_soucast“ do pomocného stroje „Machine009“. Zpracování součásti trvá přesně 2 s a do akcí při ukončení zpracování součásti je ve stroji „Machine009“ zapsána akce:

Actions on finish

REPAIR (Machine001)

Pomocna (1) = 0

Tato akce způsobí okamžité opravení stroje „Machine001“, který tak může do úseku vpustit další vozidlo. Po zpracování součásti dále dojde k odeslání součásti „Obecna_soucast“ pryč z modelu a hodnota pomocné proměnné „Pomocna“ se nastaví na hodnotu nula.

Výstup z úseku modelovaného zásobníkem „Usek_fronty_M_C“ je realizován strojem „Machine003“. Funkce tohoto stroje je analogická s funkcí stroje „Machine001“. Na ukázkou je uvedeno výstupní pravidlo ze stroje „Machine003“:

IF Vyuz_delka_M_C (2) + Delka (1) <= Delka_useku_M_C (2)

PUSH to Usek_s_omezenim_M_C

ELSE

Wait

ENDIF

Další úsek o délce 100 m je modelován zásobníkem „Usek_s_omezenim_M_C“. Celkový počet vozidel, který se může současně nacházet v tomto úseku, je závislý na typech vozidel, které daným úsekem projíždí. Při provádění experimentů s modelem budou uvažována dopravní omezení právě v tomto úseku. Stejně jako v předchozím případě je doba minimálního zdržení závislá na rychlosti vozidla projíždějícího tento úsek. Doba minimálního zdržení je zapsána stejným způsobem jako v předchozím případě:

*Minimum Time 0.1 * 60 / Atr_rychlosti.*

Nastavení zásobníku je uvedeno na obrázku (viz obr.č. 7.7).

Obrázek 7.7 Nastavení zásobníku s omezeným úsekem

Taktéž i výpočty aktuálního obsazení délky úseku jsou zapsány stejným způsobem s tím rozdílem, že se jedná o úsek s jinou délkou. Dodržení mezer mezi vozidly je rovněž zajištěno stejným způsobem jako u předchozího zásobníku. Akce na vstupu („Actions on Input“) do zásobníku „Usek_s_omezenim_M_C“ jsou zapsány ve tvaru:

$$Vyuz_delka_M_C(2) = Vyuz_delka_M_C(2) + Delka(1)$$

$$BREAKDOWN(Machine003)$$

$$Pomocna(2) = 1.$$

Akce na výstupu („Actions on Output“) ze zásobníku „Usek_s_omezenim_M_C“ jsou zapsány ve tvaru:

$$Vyuz_delka_M_C(2) = Vyuz_delka_M_C(2) - Delka(1).$$

Před vstupem do posledního úseku pomocí stroje „Machine004“ je nastavení provedeno analogicky jako v předchozích případech. Nastavení stroje „Machine004“ se provádí za pomoci následujícího zápisu. Výstupní pravidlo je ve tvaru:

IF $Vyuz_delka_M_C(3) + Delka(1) \leq Delka_useku_M_C(3)$

PUSH to Vyjezd_cast_M_C

ELSE

Wait

ENDIF

Posledním úsekem o délce 1750 m je úsek modelovaný zásobníkem „Vyjezd_cast_M_C“. Nastavení zásobníku je analogické jako u předcházejících úseků. Doba minimálního zdržení je opět závislá na rychlosti vozidla projíždějícího tento úsek (nastavení zásobníku viz obr. č. 7.8).

Akce na vstupu do zásobníku „Vyjezd_cast_M_C“ jsou zapsány ve tvaru:

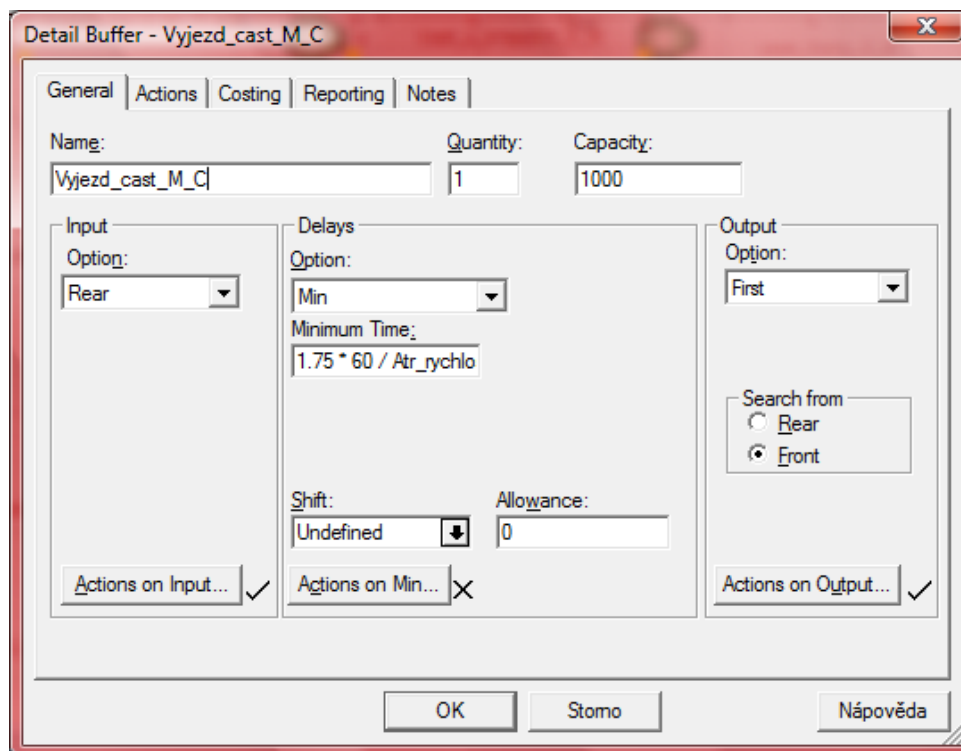
$Vyuz_delka_M_C(3) = Vyuz_delka_M_C(3) + Delka(1)$

BREAKDOWN (Machine004)

Pomocna(3) = 1

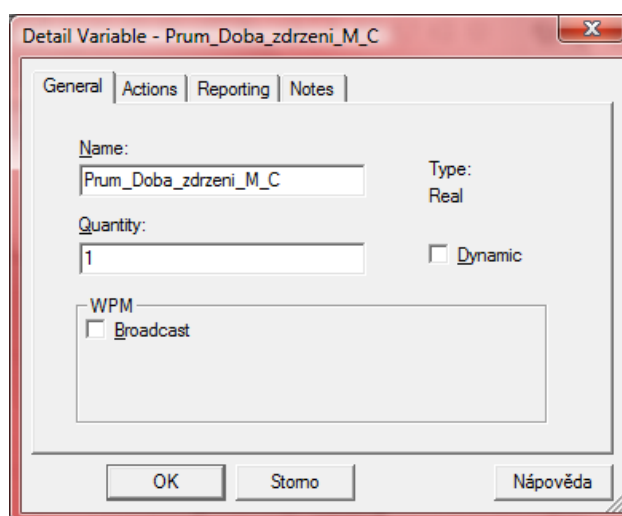
Akce na výstupu ze zásobníku „Vyjezd_cast_M_C“ jsou zapsány ve tvaru:

$Vyuz_delka_M_C(3) = Vyuz_delka_M_C(3) - Delka(1)$



Obrázek 7.8 Nastavení zásobníku výjezdové části

Pro potřebu validace modelu bylo nutné do modelu vložit další reálnou proměnnou „Prum_Doba_zdrzeni_M_C“ (nastavení proměnné viz obr. č. 7.9). Do této proměnné jsou ukládány průměrné doby zdržení vozidel pro každý směr zvlášť. V rámci validace modelu budou získané hodnoty porovnány s celkovou průměrnou délkou zdržení všech měřených vozidel pro oba směry získanou z naměřených dat.

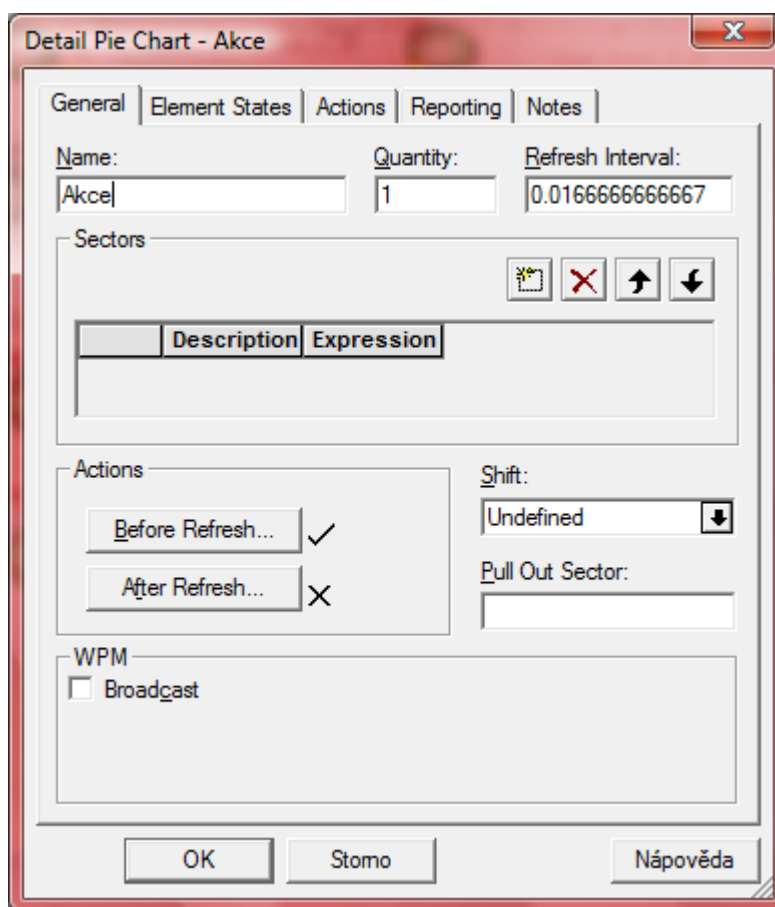


Obrázek 7.9 Nastavení proměnné pro průměrnou dobu zdržení

Pomocná proměnná „Radek“ zajišťuje, aby při zápisu hodnot do Excelu byl zajištěn zápis vždy do dalšího řádku souboru. Po zápisu aktuální hodnoty sledované hodnoty dochází ke zvýšení hodnoty proměnné „Radek“ o 1. V následujícím zápise je uvedena inicializační akce této proměnné, z jejíž zápisu je zřejmé, odkud se hodnota proměnné „Radek“ bude načítat vždy při začátku simulace:

XLReadArray ("Diplomka_data.xlsx","List1","\$D\$2",Radek,1).

Pro výpočet průměrné doby zdržení byl využit prvek koláčový graf („Pie“) pojmenovaný „Akce“, jehož nastavení je obr. č. 7.10.



Obrázek 7.10 Nastavení koláčového grafu „Akce“

Koláčový graf se obnovuje po uplynutí 240 minut simulárního času a po uplynutí tohoto času jsou realizovány výpočty sledovaných charakteristik. Výpočty sledovaných charakteristik jsou realizovány v akcích před obnovením koláčového grafu („Actions before refresh“):

Prum_Doba_zdrzeni_M_C = AFLOW (Osobni_vozidla_M_C)

$Prum_Doba_zdrzeni_C_M = AFLOW (Osobni_vozidla_C_M)$

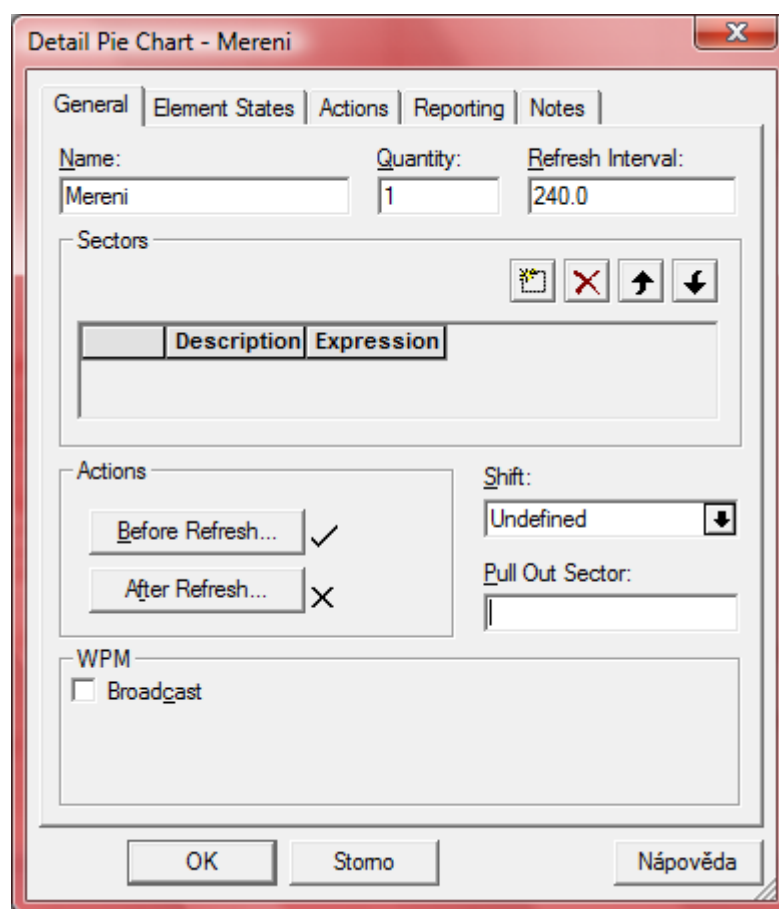
$XLWriteArray ("Diplomka_data.xlsx", "List1", "A" + Radek, Prum_Doba_zdrzeni_M_C, 1)$

$XLWriteArray ("Diplomka_data.xlsx", "List1", "B" + Radek, Prum_Doba_zdrzeni_C_M, 1)$

$Radek = Radek + 1$

$XLWriteArray ("Diplomka_data.xlsx", "List1", "D2", Radek, 1)$

Jak je ze zápisu patrné, dojde k výpočtu průměrných dob zdržení pro oba směry pomocí funkce „AFLOW“, vypočítané hodnoty jsou zapsány do Excelu pomocí příkazu „XLWriteArray“ za účelem dalšího zpracování. Nastavení koláčového grafu „Merení“ je uvedeno na obrázku č. 7.11



Obrázek 7.11 Nastavení měření

7.3 Validace simulačního modelu 1

Samotná validace modelu spočívá v přípravě údajů a porovnání hodnot získaných z reálného chování systému a hodnot získaných ze simulace. Při přípravě dat pro validaci modelu je nutné, aby navržené údaje ověřily chování modelu. Simulované hodnoty by se v jisté míře abstrakce měly přiblížit skutečnému chování systému.

Z bodového dopravního průzkumu není možné přesně určit dobu pobytu vozidla na sledovaném úseku silnice, protože rychlost byla měřena bodově a při jízdě v modelovaném úseku se mění, proto bylo nutné zavést následující předpoklady.

Podklady pro získání doby zdržení vozidel jsou časy vstupu vozidel vjíždějících do sledovaného úseku a naměřená bodová rychlost. Při výpočtu se bere v úvahu, že není-li vozidlo v průběhu jízdy na úseku omezováno jiným vozidlem, projede celým úsekem svou naměřenou rychlostí. V případě, že vozidlo je omezováno při své jízdě jiným vozidlem, je uvažováno, že vozidlo může opustit úsek, až úsek opustí vozidlo, které jej omezuje.

Příklad výpočtu zdržení vozidel ve sledovaném úseku z reálných dat z provozu:

Vozidlo vstoupilo na úsek v čase 6:33:30,330 a jelo rychlostí 58,7 km/h. Předpokládaná doba zdržení bude vypočítána dle vzorce:

$$t_{m-c_i} = \frac{3,6}{58,7} \cdot 60 = 3,679 \text{ min}$$

Předpokládaná doba, kdy vozidlo může opustit sledovaný úsek, je v 6:37:11,371. Pokud by předcházející vozidlo opouštělo úsek v takovém čase, že by nebyl zajištěn rozestup 2 s a nebyl by dodržen předpoklad nepředjíždění vozidel, nebude toto vozidlo moci opustit úsek dříve než 2 s po opuštění předchozího vozidla. Takto byly vypočítány doby zdržení pro všechna vozidla, která projela úsekem doby měření. Tímto byly získány dva statistické soubory, u kterých byl vypočítán výběrový průměr, výběrový rozptyl a výběrová směrodatná odchylky.

Výpočet pro směr Milonice – Černá Hora

Výběrový průměr spočítáme podle vztahu:

$$t_{m-c} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n t_{m-c_i}, \quad (7.1)$$

kde:

n..... rozsah souboru

t_{m-c_i} ...hodnoty statistického souboru.

Dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{5537,827}{1543} = 3,589 \text{ [min]}.$$

Výběrový rozptyl spočítáme podle vztahu:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_{m-c_i} - t_{m-c})^2 \quad (7.2)$$

kde:

n..... rozsah souboru

t_{m-c_i} ...hodnoty statistického souboru.

Dosazením do vzorce (7.2) získáme:

$$S^2 = \frac{1}{1543-1} \sum_{i=1}^{1543} (t_{m-c_i} - 3,589)^2 = 0,577 \text{ [min}^2\text{]}.$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,577} = 0,760 \text{ [min]}.$$

Výpočet pro směr Černá Hora – Milonice

Výběrový průměr spočítáme dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{2744,390}{818} = 3,355 \text{ [min]}.$$

Výběrový rozptyl spočítáme podle vztahu:

Dosazením do vzorce (7.2) získáme:

$$S^2 = \frac{1}{758 - 1} \sum_{i=1}^{758} (t_{m-c_i} - 3,355)^2 = 0,257 \text{ [min}^2\text{]}.$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,257} = 0,508 \text{ [min]}.$$

Po výpočtu hodnot pro všechny vozidla je výsledkem, průměrná doba zdržení pro směr Milonice – Černá Hora 3,589 minuty a pro opačný směr Černá Hora – Milonice 3,355 minuty. Tyto hodnoty budou porovnány s hodnotami získanými simulací. Výstupem ze simulačního modelu jsou doby pobytu jednotlivých vozidel a celková průměrná doba pobytu vozidla na sledovaném úseku.

Validační experiment si vyžádá úpravu modelu. U vstupních součástí upraveno generování rychlostí vozidel uložených v atributu „Atr_rychlosti“. V původním modelu je rychlost vozidla generována definovaným rozdělením, při validačním experimentu budou hodnoty rychlostí načítány z externího souboru Excel, ve kterém jsou uloženy reálné rychlosti vozidel z dopravního průzkumu. Podobná úprava bude provedena pro načítání mezer mezi vstupy vozidel do úseku. Toto si vyžádá zavedení nové reálné proměnné s názvem „Realna_rychlost_M_C“ a „Realna_mezera M_C“ a úpravy v akcích při vytvoření součásti („Actions on Create“) „Vozidla_M_C“ tímto způsobem:

```
XLReadArray ("Nesezarena_data.xlsx","List1","D" +  
Radek2_M_C,Realna_rychlost_M_C,1)  
Radek2_M_C = Radek2_M_C + 1  
XLWriteArray ("Nesezarena_data.xlsx","List1","G7",Radek2_M_C,1)  
Atr_rychlosti = Realna_rychlost_M_C
```

```

Delka (1) = 6
IF UNIFORM (0,1) > 0.748
  ICON = 25
  Delka (1) = 17
ENDIF
Cas_vstupu_M_C = TIME
XLReadArray ("Nesezarena_data.xlsx","List1","F" +
  Radek1_M_C,Realna_mezera_M_C,1)
Radek1_M_C = Radek1_M_C + 1
XLWriteArray ("Nesezarena_data.xlsx","List1","G4",Radek1_M_C,1)

```

Červeně vyznačené zápisy znázorňují ty zápisy, které bylo potřeba upravit nebo přidat. Dále v souboru Excel s názvem „Nesezarena_data.xlsx“ bylo nutné si připravit a seřadit vstupní data pro potřeby validačního experimentu. Obdobná úprava byla realizována pro druhý směr. V rámci validačního experimentu byl proveden jeden simulační běh a byly zapsány doby zdržení všech vozidel po dobu simulace. Toto bylo realizováno pomocí přidaného atributu „Cas_vstupu_M_C“

Ze získaných hodnot byly vypočteny průměrné doby zdržení a rozptylu.

Výpočet pro směr Milonice – Černá Hora

Výběrový průměr spočítáme podle vztahu dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{4903,886}{1404} = 3,458 \text{ [min]}.$$

Výběrový rozptyl spočítáme dosazením do vzorce (7.2):

$$S^2 = \frac{1}{1404 - 1} \sum_{i=1}^{1404} (t_{m-c_i} - 3,458)^2 = 0,343 \text{ [min}^2\text{]}.$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,343} = 0,586 \text{ [min]}.$$

Výpočet pro směr Černá Hora – Milonice

Výběrový průměr spočítáme dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{2557,257}{758} = 3,342 \text{ [min]}.$$

Výběrový rozptyl spočítáme podle vztahu:

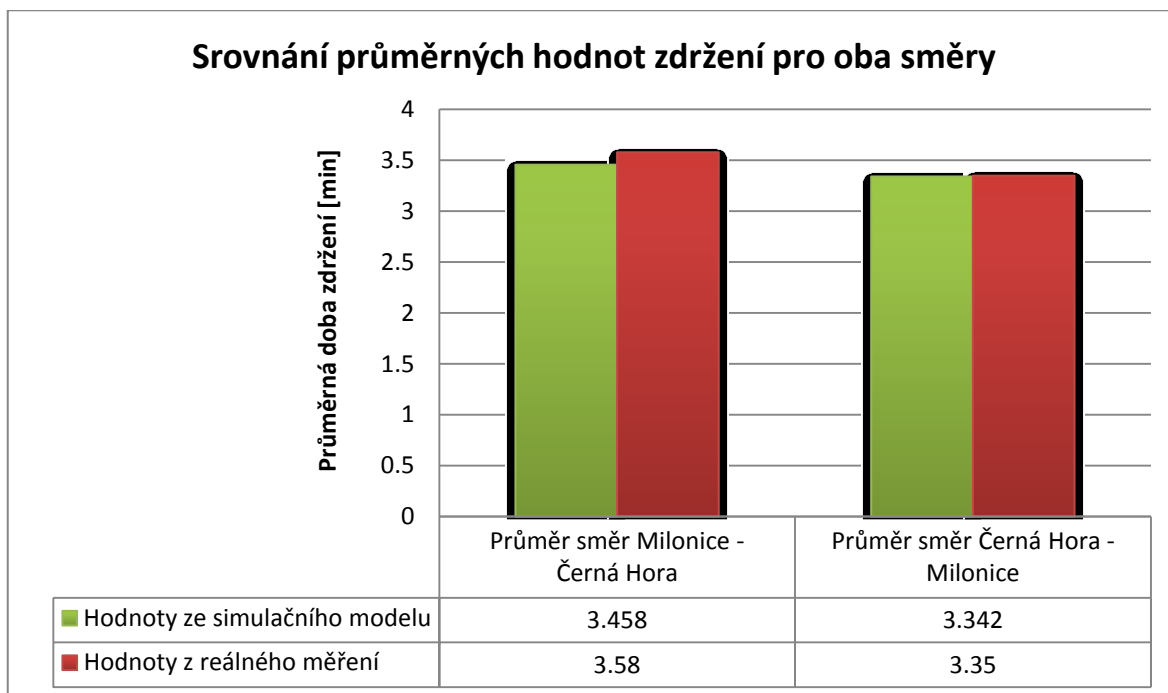
Dosazením do vzorce (7.2) získáme:

$$S^2 = \frac{1}{758 - 1} \sum_{i=1}^{758} (t_{m-ci} - 3,342)^2 = 0,268 \text{ [min}^2\text{]}.$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,268} = 0,518 \text{ [min]}.$$

Na obrázku 7.12 jsou přehledně seřazeny výsledky průměrných dob zdržení získaných ze simulačního běhu a z reálného měření.



Obrázek 7.12 Srovnání průměrných hodnot zdržení pro oba směry v modelu 2

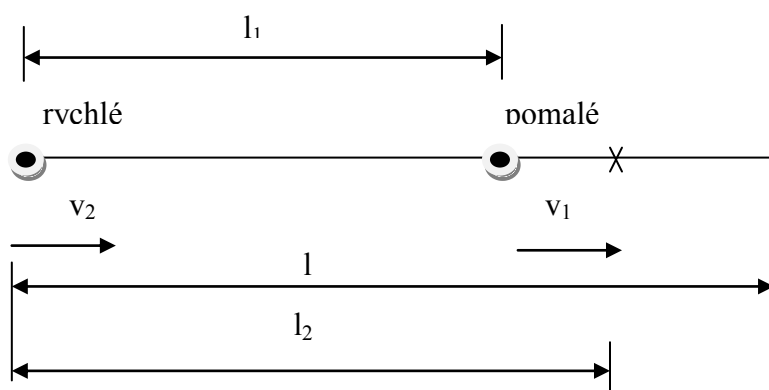
Po validaci jsou průměrné doby zdržení v simulačním modelu 1 pro směr Milonice – Černá Hora 3,458 minuty a pro opačný směr Černá Hora – Milonice 3,342 minuty. Tyto hodnoty jsou porovnány s hodnotami získanými simulací. Výsledkem ze simulačního modelu docházíme k závěru, že hodnoty získané ze simulačního běhu se liší o méně než 5% a validační model je prohlášen za validní.

7.4 Simulační model 2 – varianta s použitím cest

V rámci zpracování diplomové práce byl dále zkoušen diskrétní prvek cesta („path“) jako náhrada prvku typu zásobník. Touto změnou dochází ke změně chování modelu, při níž vzniká celá řada problémů, které je nutno vyřešit tak, aby tento model modeloval silniční úsek se stejnými předpoklady a bylo tak možno model validovat.

Tato varianta simulačního modelu zachovává rozdělení úseků, které jsou shodné s předchozí variantou, taktéž použití ostatních elementů, jsou shodná, ale nastavením se často liší. Je nutné zdůraznit, že díky použití cest se zvýšila složitost modelu.

Jelikož vodorovné dopravní značení zakazuje předjíždění vozidel, je nutné do jisté míry zohlednit ovlivňování vozidel v případech, kdy první jedoucí vozidlo bude pomalejší, než vozidlo jedoucí za ním. Tento problém je v modelu řešen následujícím způsobem:



Obrázek 7.13 Schematické znázornění pohybu vozidel

Obecně mohou nastat tři případy:

1. Pojede-li sled rychlého vozidla a pomalého vozidla, není pomalé vozidlo ve své jízdě nikterak ovlivňováno a můžeme tedy předpokládat, že pomalé vozidlo pojede celou svou dráhu svou původní rychlostí.
2. Pojede-li sled pomalého a rychlého vozidla, přičemž bude platit, že dráha rychlého vozidla potřebná pro dojetí pomalého vozidla bude větší nebo rovna délce daného úseku, bude uvažováno, že rychlé vozidlo není jízdou pomalého vozidla omezováno a může jet celou délku úseku svou původní rychlostí.
3. Pojede-li sled pomalého a rychlého vozidla, přičemž bude platit, že dráha rychlého vozidla potřebná pro dojetí pomalého vozidla bude menší než délka daného úseku, bude na základě následujících úvah uvažováno, že část délky úseku pojede svou původní rychlostí a zbylou část délky úseku pojede stejnou rychlostí jako pomalé vozidlo. Se zpomalením vozidlo není pro jednoduchost uvažováno.

Pro zjednodušení situace uvažujme, že obě vozidla se pohybují rovnoměrným pohybem, nedochází-li k jejich omezování. V případě, že na úseku jede rychlé vozidlo za vozidlem pomalým, je nutno stanovit, jak bude rychlé vozidlo pomalým vozidlem na úseku omezováno, případně je nutno stanovit, o kolik se prodlouží pobyt rychlého vozidla na daném úseku. Při výpočtu vyjdeme z podmínky, že $t_1=t_2$, to znamená, že doba jízdy pomalého vozidla od okamžiku vstupu rychlého vozidla do úseku je stejná jako doba jízdy rychlého vozidla do okamžiku, kdy rychlé vozidlo dostihne pomalé. Dosazením na základě obrázku č. 7.12 dostaneme:

$$\frac{l_2-l_1}{v_1} = \frac{l_2}{v_2},$$

kde:

v_1 rychlost pomalého vozidla

v_2rychlost rychlého vozidla

l_1dráha, kterou urazí pomalé vozidlo

l_2 dráha, kterou urazí rychlé vozidlo

t_1 doba jízdy pro pomalého vozidla braná od okamžiku vstupu rychlého vozidla do úseku

t_2 doba jízdy rychlého vozidla

postupnými úpravami dostaneme

$$l_2 = \frac{v_2 \cdot l_1}{v_2 - v_1}.$$

Ze vzorce tedy plyne, že rychlé vozidlo pojede dráhu l_2 , svou rychlostí v_2 a dráhu $l-l_2$ rychlostí pomalého vozidla v_1 . Nutno dodat, že odvození platí pro oba směry. V rámci zjednodušení neuvažujeme zpomalení rychlého vozidla.

Model začíná stejným způsobem jako v případě použití zásobníků. I v tomto případě popisují pouze jeden směr (Milonice – Černá Hora), druhý směr je analogický Vozidla

vstupují do modelu jako aktivní prvek pomocí součásti (part). Mezery mezi vozidly jsou generovány příkazem

Mezera_M_C () / 60,

kteé vychází z histogramů četností pro každý směr zvlášť (viz obr. č. 7.14). Nastavení parametrů vozidel (osobní, nákladní) se provádí v „Actions on Create“ následujícím zápisem:

Atr_rychlosti = Rychlost_M_C ()

Delka (1) = 6

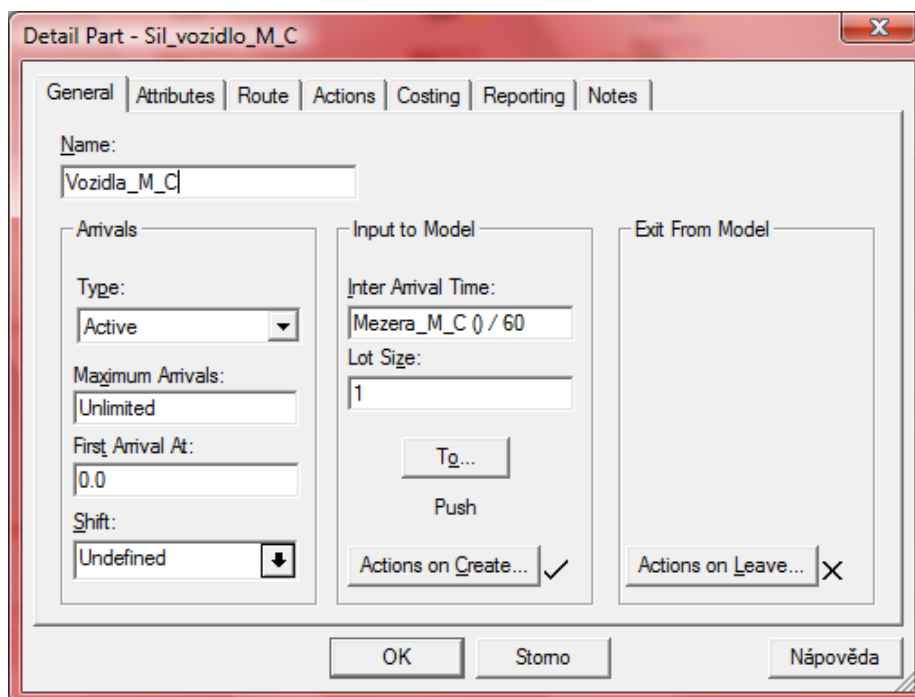
IF UNIFORM (0,1) > 0.748

ICON = 25

Delka (1) = 17

ENDIF

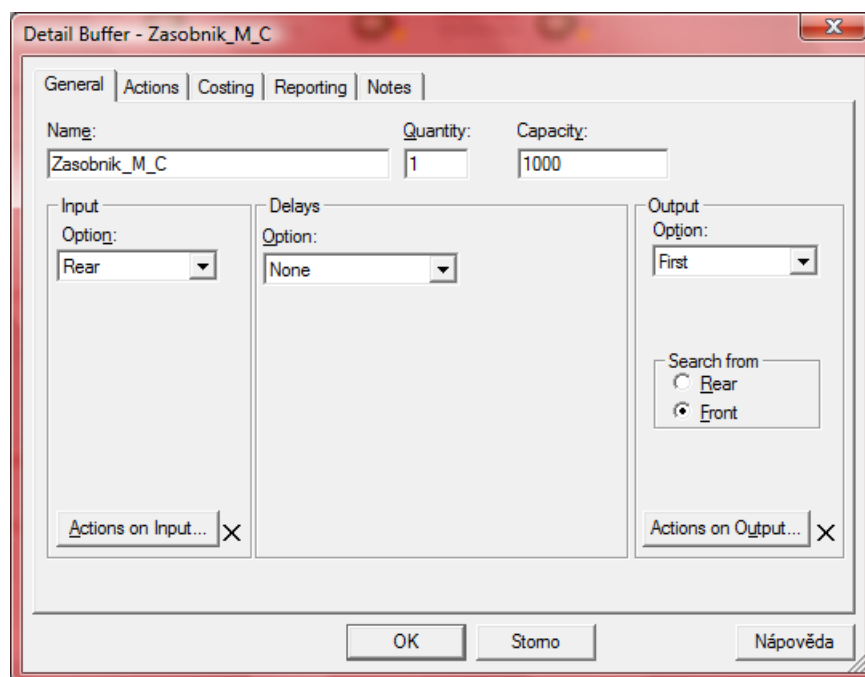
Je-li vygenerovaná hodnota z rovnoměrného rozdělení z intervalu (0,1) větší než 0,748 je vozidlu přiřazena délka nákladního vozidla, v opačném případě délka vozidla odpovídá osobnímu vozidlu.



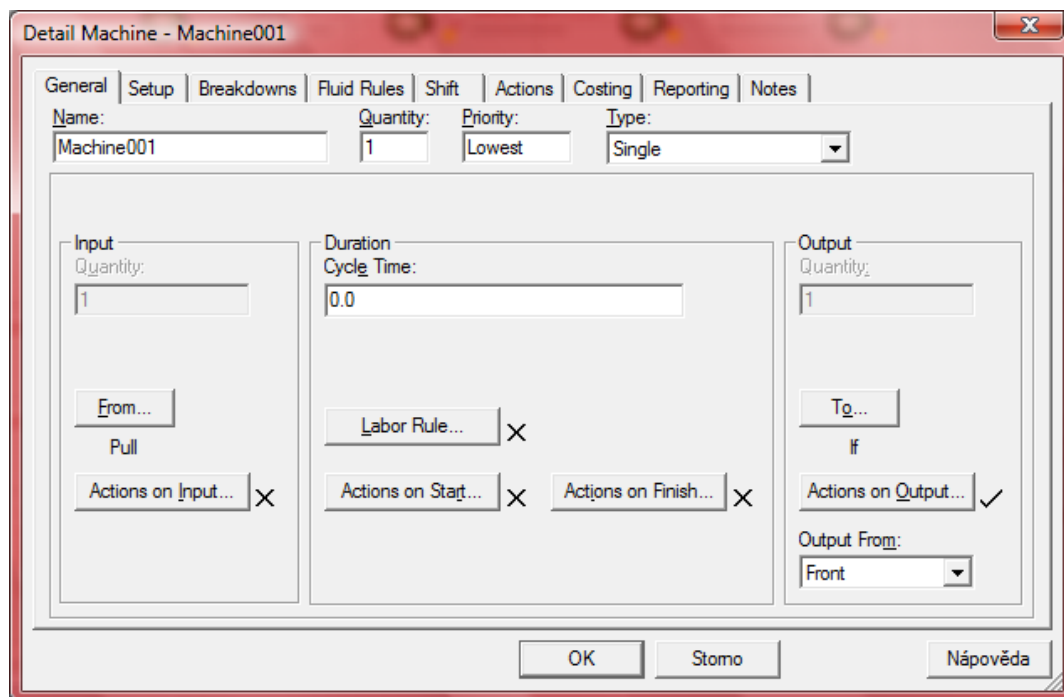
Obrázek 7.14 Nastavení součástí reprezentující silniční vozidla

Silniční vozidla „Vozidla_M_C“ vstupují do zásobníku „Zasobnik_M_C“, který představuje komunikaci před sledovaným úsekem. Tento úsek slouží k tomu, aby v případech, kdy bude zcela využita kapacita následujícího úseku, nedocházelo k odmítání vozidel na vstupu do modelu (nastavení zásobníku viz obr. č. 7.15). V případech, že vozidlo může plynule pokračovat do následujícího úseku, je jeho zdržení v zásobníku „Zasobnik_M_C“.

Ze zásobníku „Zasobnik_M_C“ silniční vozidla vstupují do sledovaného úseku přes první stroj „Machine001“, doba zdržení ve stroji je nulová, jelikož se jedná pouze o pomocný stroj, pomocí kterého je realizována jízda vozidla do úseku modelovaného cestou s názvem „Usek_fronty_M_C“. (viz. obr. č. 7.16). Předtím, než silniční vozidla vstoupí do úseku fronty v nastavení To, pomocí pravidla if, dochází ke zjištění, zda-li je na následujícím silničním úseku dostatečná délka, která umožní vstup na cestu s názvem Úsek fronty_M_C. Jestliže je délková kapacita nedostatečná, tak je silniční vozidlo zdrženo ve stroji až do doby, než se uvolní dostatečná délková kapacita.



Obrázek 7.15 Nastavení zásobníku „Zasobnik_M_C“



Obrázek 7.16 Nastavení stroje „Machine001“

V podmínce if ve vstupním pravidle stroje „Machine001“ je s využitím logické funkce AND přidána podmínka zajišťující dodržení minimálních rozestupů mezi vozidly o hodnotě 2 s.

IF Vyuzita_delka_C_M (1) + Delka (1) <= Delka_useku_M_C (1) AND TIME >= vstup_M_C (1) + 2 / 60

PUSH to Machine003 Using Path

ELSE

Wait

ENDIF

V akcích na výstupu („Actions on Output“) ze stroje „Machine001“ se dále provádí výpočet doby pobytu vozidla na následujícím úseku. Z tohoto důvodu bylo nutné zavést pro každý úsek:

- reálná proměnná „v1_pomaly_M_C“, ve které je uložena hodnota rychlosti posledního vozidla v řadě nacházejícího se na daném úseku
- reálná proměnná „v2_rychly_M_C“, ve které je uložena hodnota rychlosti vozidla vstupujícího do daného úseku.

- reálný atribut „Doba_k_projeti_fr_M_C“ (názvy atributů pro ostatní úseky jsou odvozeny analogicky).
- funkce „Vypocet_fr_M_C“, která slouží k výpočtu doby pobytu vozidla na úseku.

Následuje zápis výstupních akcí u stroje „Machine001“ :

```

v2_rychly_M_C (l) = Atr_rychlosti
F v2_rychly_M_C (l) > v1_pomaly_M_C (l)
  Vypocet_fr_M_C ()
ELSE
  Doba_k_projeti_fr_M_C = 60 * l_M_C (l) / v2_rychly_M_C (l)
  v1_pomaly_M_C (l) = v2_rychly_M_C (l)
ENDIF

V rámci této akce se v případě, že na úseku vstupuje rychlé vozidlo, kterému předcházelo pomalé vozidlo, je prováděn výpočet funkce „Vypocet_fr_M_C“, jejímž výstupem je doba pobytu vozidla vstupujícího do úseku uložena v atributu „Doba_k_projeti_fr_M_C“. Zápis této funkce je uveden níže:

l1_pomaly_M_C (l) = (TIME - vstup_M_C (l)) * v1_pomaly_M_C (l) / 60
l2_rychly_M_C (l) = v2_rychly_M_C (l) * l1_pomaly_M_C (l) / (v2_rychly_M_C (l) - v1_pomaly_M_C (l))
IF l2_rychly_M_C (l) >= l_M_C (l)
  Doba_k_projeti_fr_M_C = 60 * l_M_C (l) / v2_rychly_M_C (l)
  v1_pomaly_M_C (l) = v2_rychly_M_C (l)
ELSE
  Doba_k_projeti_fr_M_C = 60 * l2_rychly_M_C (l) / v2_rychly_M_C (l) + 60 * (l_M_C (l) - l2_rychly_M_C (l)) / v1_pomaly_M_C (l)
  Atr_rychlosti = v1_pomaly_M_C (l)
  v1_pomaly_M_C (l) = v1_pomaly_M_C (l) * v2_rychly_M_C (l) * (l1_pomaly_M_C (l) + l2_rychly_M_C (l)) / (v2_rychly_M_C (l) * l1_pomaly_M_C (l) + v1_pomaly_M_C (l) * l2_rychly_M_C (l))
ENDIF
RETURN Doba_k_projeti_fr_M_C

```

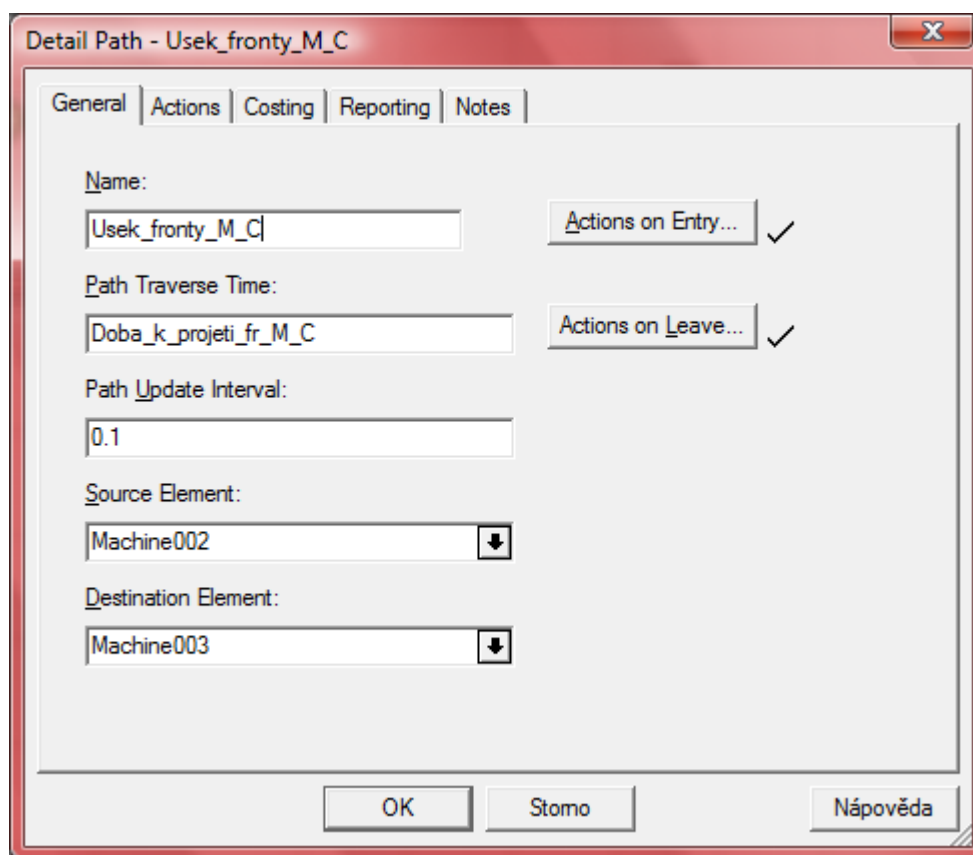
Tento výpočet je prováděn podle předpokladů uvedených dříve.

Délky úseků jsou uloženy v reálných proměnných s názvy „Delka_useku_M_C“ a „Delka_useku_C_M“, které mají v inicializačních akcích zapsanou délku pro každý úsek tímto způsobem:

Delka_useku_M_C (1) = 1750

Delka_useku_M_C (2) = 100

Delka_useku_M_C (3) = 1750



Obrázek 7.17 Nastavení úseku fronty

V nastavení cesty „Usek_fronty_M_C“ dochází k výpočtu doby pobytu silničního vozidla v tomto úseku. Výpočet je uložen do pomocné proměnné s názvem „Doba_k_projeti_fr_M_C“, předchozí stroj „Machine001“ je zařazen jako zdrojový prvek a stroj „Machine003“ jako cílový prvek, mezi nimiž je umístěna cesta s názvem „Usek_fronty_M_C“, jež znázorňuje pohyb vozidel.

Při každém vstupu vozidla do úseku fronty „Usek_fronty_M_C“, se zaznamenává aktuální hodnota simulárního času pomocí příkazu TIME. Tato hodnota je uložena do pomocné proměnné „vstup_M_C (1)“, taktéž dochází k přičtení délky vozidla Delka (1), které na úsek vstupuje, k již využitě délce „Vyuzita_delka_M_C(1)“. Celková využitá délka úseku aktualizována a její hodnota je uložena do pomocné proměnné „Vyuzita_delka_M_C(1)“.

„Actions on Entry“:

$vstup_M_C(1) = TIME$

$Vyuzita_delka_M_C(1) = Vyuzita_delka_M_C(1) + Delka(1)$

Jestliže se v úseku nachází pouze jediné vozidlo, tj. vozidlo právě opouštějící úsek, je nastavena hodnota proměnné „v1_pomaly_M_C“ na 200, což zajišťuje, že následující vozidlo vstupující do tohoto úseku nebude předchozím vozidlem ovlivňováno. Podmínky jsou zapsány následovně:

„Actions on Leave“

$Vyuzita_delka_M_C(1) = Vyuzita_delka_M_C(1) - Delka(1)$

$IF\ NPARTS(Usek_fronty_M_C) = 1$

$v1_pomaly_M_C(1) = 200$

ENDIF

Při přechodu mezi úsekem fronty a úsekem s omezením se nachází stroj „Machine003“. Ve výstupním pravidle je nastaven vlně from, Buffer (1000). Toto nastavení zajistí, aby docházelo k plynulému přechodu vozidel mezi jednotlivými úseky. Hodnotu bufferu lze volit libovolně v závislosti na intenzitě vozidel. Pokud bychom vynechali toto nastavení, docházelo by k případům, kdy stroj by pouštěl pouze jedno vozidlo na následující úsek. Ostatní vozidla by byla blokována do doby, než by vozidlo opustilo následující úsek.

Ostatní podmínky výstupního pravidla a akce na výstupu jsou shodné s předchozím nastavením stroje. Pouze dochází ke změně indexů. Podmínky u tohoto stroje jsou zapsány následovně:

To

IF Vyuzita_delka_C_M (2) + Delka (1) <= Delka_useku_M_C (2) AND TIME >= vstup_M_C (2) + 2 / 60

PUSH to Machine004 Using Path

ELSE

Wait

ENDIF

„Actions on output“

v2_rychly_M_C (2) = Atr_rychlosti

IF v2_rychly_M_C (2) > v1_pomaly_M_C (2)

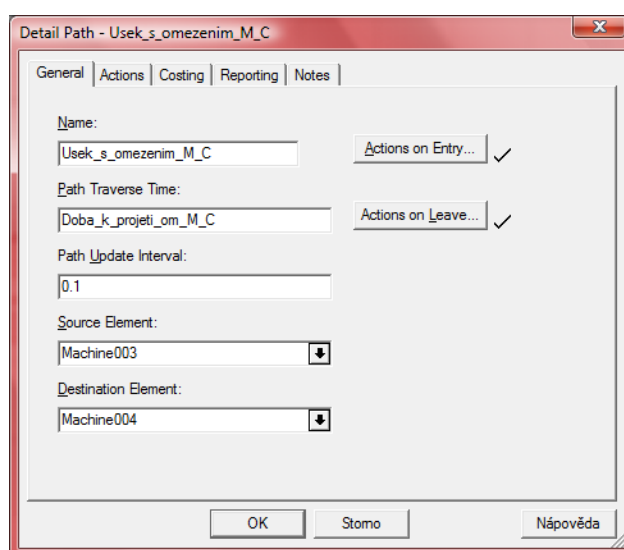
Vypocet_om_M_C ()

ELSE

*Doba_k_projeti_om_M_C = 60 * l_M_C (2) / v2_rychly_M_C (2)*

v1_pomaly_M_C (2) = v2_rychly_M_C (2)

ENDIF



Obrázek 7.18 Nastavení úseku s omezením „Usek_s_omezenim_M_C“

V nastavení cesty v úseku s omezením je výpočet prováděn stejným principem, liší se od úseku fronty několika drobnými změnami.

Předcházející stroj „Machine003“ je zařazen jako zdrojový prvek a stroj „Machine004“ jako cílový prvek, mezi nimiž je opět umístěna cesta, tentokrát s názvem „Usek_s_omezenim_M_C“. Ve vstupních akcích se aktuální hodnota simulárního času zapisuje do proměnné „vstup_M_C (2)“, taktéž dochází k přičtení délky vozidla, které na úsek vstupuje. Délka se přičítá k již využitě délce „Vyuzita_delka_M_C(2)“. Celková využitá délka je aktualizována do pomocné proměnné „Vyuzita_delka_M_C(2)“.

Actions on Entry

$vstup_M_C(2) = TIME$

$Vyuzita_delka_M_C(2) = Vyuzita_delka_M_C(2) + Delka(1)$

Při každém výstupu vozidla z úseku fronty se odečte aktuální délka opouštějícího silničního vozidla od celkové využitě délky. A nastavením pravidla if dochází k tomu, jestliže se v úseku nachází pouze jedna součást, pak rychlost vozidla není nějak ovlivňována a je nastavena na hodnotu 200 km/h. Akce na výstupu jsou zapsány následovně:

Actions on Leave

$Vyuzita_delka_M_C(2) = Vyuzita_delka_M_C(2) - Delka(1)$

$IF\ NPARTS(Usek_s_omezenim_M_C) = 1$

$v1_pomaly_M_C(2) = 200$

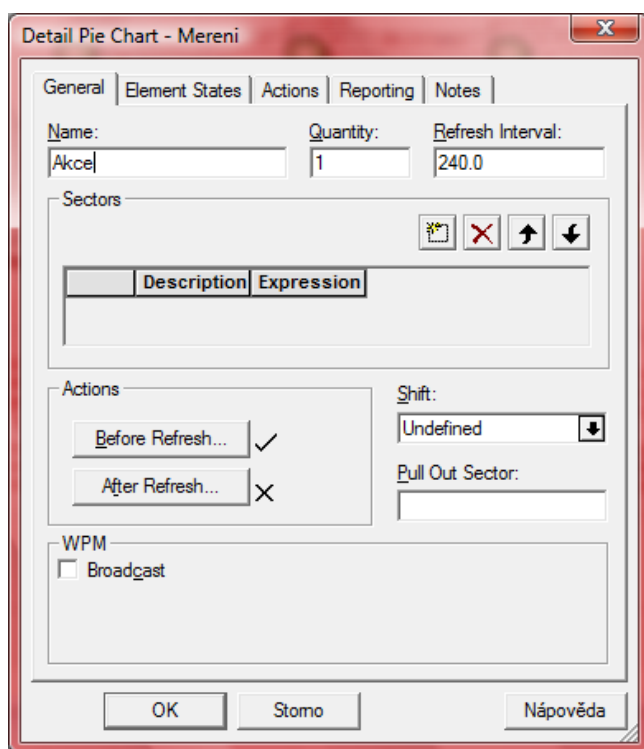
ENDIF

Modelování posledního úseku ve směru Milonice – Černá Hora pokračuje stejným způsobem, jako byly modelovány předchozí úseky. Následuje přechodový stroj „Machine004“ a poslední výjezdový úsek „Vyjezd_cast_M_C“. Nastavení stroje vychází z předchozího nastavení, kdy je nastaven „Buffer“ na hodnotu 1000.

Výstupní pravidlo „to“ a akce na výstupu jsou shodné s předchozím nastavením stroje, ale s rozdílnými indexy.

V nastavení cesty ve výjezdové části je výpočet prováděn stejným principem. Zdrojový prvek je „Machine004“ a cílový stroj je „Machine005“, mezi nimiž je opět umístěna cesta s názvem „Vyjezd_cast_M_C“. Ve vstupních akcích se aktuální hodnota vstupního simulárního času zapisuje do proměnné „vstup_M_C (3)“, opět dochází k přičtení délky vozidla, které do úseku vstupuje. Délka se přičítá k již využitě délce „Vyuzita_delka_M_C(3)“.

Pro zápis dat do Excelu byl použit prvek koláčový graf („Pie“), nastavení tohoto prvku je uvedeno na obr. č. 7.19, kterým se provádí výpočet průměrné doby zdržení



Obrázek 7.19 Nastavení koláčového grafu

Jelikož je interval obnovování grafu nastaven na 240 minut simulárního času, je tímto umožněno provádění výpočtů sledovaných charakteristik po ukončení jednoho simulačního běhu o délce 240-ti minut, výpočty jsou prováděny v akcích před obnovením grafu („Actions efore refresh“). Doby zdržení vozidel pro každý směr jsou stanovovány pomocí funkce „AFLOW“. Dosažené hodnoty průměrného zdržení pro každý směr se zapisují do

souboru v Excelu příkazem „XLWriteArray“. Při každém zápisu pak dojde k posunu na další řádek v Excelu zápisem Radek = Radek + 1. Zápis vypadá následovně:

```
Prum_doba_zdrzeni_M_C = AFLOW (Sil_vozidlo_M_C)
Prum_doba_zdrzeni_C_M = AFLOW (Sil_vozidlo_C_M)
XLWriteArray ("Diplomka_data_model2.xlsx","List1","A" +
Radek,Prum_doba_zdrzeni_M_C,1)
XLWriteArray ("Diplomka_data_model2.xlsx","List1","B" +
Radek,Prum_doba_zdrzeni_C_M,1)
Radek = Radek + 1
XLWriteArray ("Diplomka_data_model2.xlsx","List1","D2",Radek,1)
```

7.5 Validace simulačního modelu 2

Validace modelu s využitím cest využívá stejných principů uvedených v kapitole 7.3. Po výpočtu hodnot pro všechny vozidla je výsledkem, průměrná doba zdržení pro směr Milonice – Černá Hora 3,589 minuty a pro opačný směr Černá Hora – Milonice 3,355 minuty. Tyto hodnoty budou porovnány s hodnotami získanými simulací. Výstupem ze simulačního modelu jsou doby pobytu jednotlivých vozidel a celková průměrná doba pobytu vozidla na sledovaném úseku. Simulační běh opět proběhl v jednom 240-ti minutovém intervalu. Validační experiment si vyžádá úpravu modelu jako v předcházejícím případě v simulačním modelu 1.

Výpočet pro směr Milonice – Černá Hora

Výběrový průměr spočítáme dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{4883,487}{1401} = 3,452 \text{ [min]}.$$

Výběrový rozptyl spočítáme dosazením do vzorce (7.2):

$$S^2 = \frac{1}{1401 - 1} \sum_{i=1}^{1401} (t_{m-c_i} - 3,452)^2 = 0,327 [\text{min}^2].$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,327} = 0,586 [\text{min}].$$

Výpočet pro směr Černá Hora – Milonice

Výběrový průměr spočítáme dosazením do vzorce (7.1) získáme:

$$t_{m-c} = \frac{2502,438}{758} = 3,272 [\text{min}].$$

Výběrový rozptyl spočítáme podle vztahu:

Dosazením do vzorce (7.2) získáme:

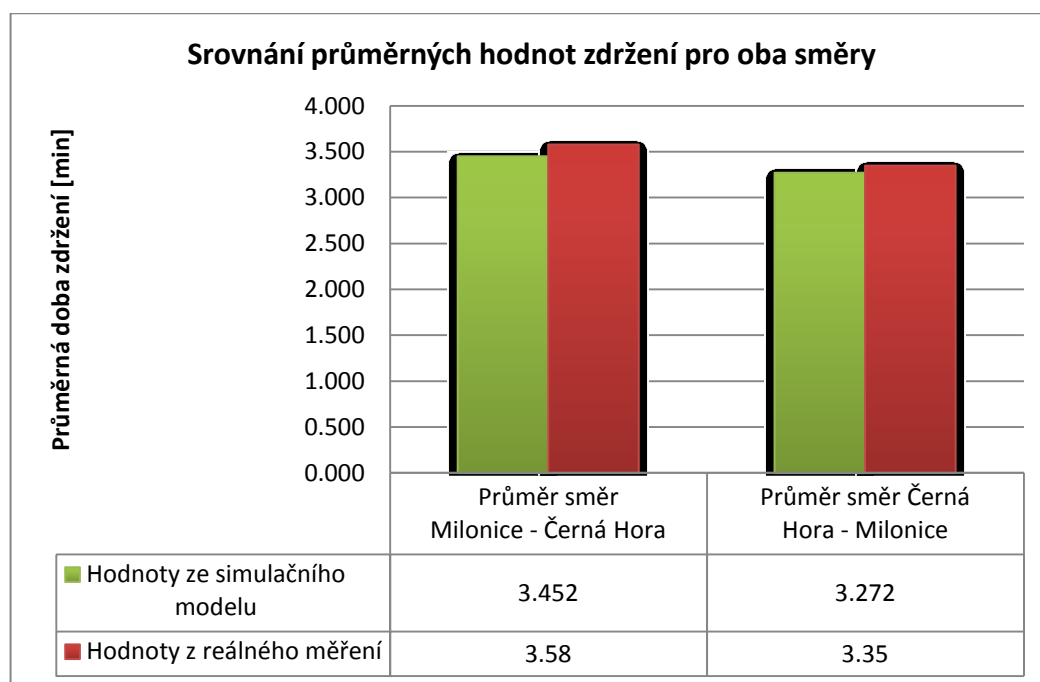
$$S^2 = \frac{1}{758 - 1} \sum_{i=1}^{758} (t_{m-c_i} - 3,272)^2 = 0,251 [\text{min}^2].$$

Směrodatnou odchylku spočítáme podle vztahu:

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{0,251} = 0,501 [\text{min}].$$

Po validaci jsou průměrné doby zdržení v simulačním modelu 2 pro směr Milonice – Černá Hora 3,452 minuty a pro opačný směr Černá Hora – Milonice 3,272 minuty. Tyto hodnoty jsou porovnány s hodnotami získanými simulací a výsledkem ze simulačního modelu docházíme k závěru, že validační model je prohlášen za validní.

Na obrázku 7.20 jsou přehledně seřazeny výsledky průměrných dob zdržení získaných ze simulačního běhu a z reálného měření.



Obrázek 7.20 Srovnání průměrných hodnot zdržení pro oba směry v modelu 2

7.6 Porovnání výsledků validace obou modelů

Pro úplnost byla vytvořena přehledná tabulka č. 7.1, která nabízí výsledky průměrných dob zdržení z obou simulačních modelů a hodnot získaných z předpokládané doby zdržení.

Tab. č. 7.1 - Výsledná tabulka validace obou modelů

	Milonice – Černá Hora	Černá Hora - Milonice
Hodnoty získané z naměřených dat	Prům. hodnota: 3,58 [min]	Prům. hodnota: 3,35 [min]
	Směr. odchylka: 0,76 [min]	Směr. odchylka: 0,51 [min]
Hodnoty simulačního modelu I.	Prům. hodnota: 3,45 [min]	Prům. hodnota: 3,27 [min]
	Směr. odchylka: 0,57 [min]	Směr. odchylka: 0,50 [min]
Hodnoty simulačního modelu II.	Prům. hodnota: 3,46 [min]	Prům. hodnota: 3,34 [min]
	Směr. odchylka: 0,58 [min]	Směr. odchylka: 0,52 [min]

Jelikož se hodnoty získané z naměřených dat a hodnoty získané ze simulačních modelů liší o méně než 5%, lze oba simulační modely považovat za validní.

8 SIMULAČNÍ EXPERIMENTY

Pro simulační experimenty byl vybrán pouze simulační model 1. V rámci simulačních experimentů jsou simulovány dva typy mimořádných událostí, nejprve je simulováno v omezeném úseku snižování rychlosti v rozmezí 90 – 20 km/h, v rámci druhého experimentu je provedeno uzavření jednoho silničního pruhu a jízda vozidla je řízena dočasným světelným signalizačním zařízením.

8.1 Úprava modelu při snižování rychlosti

V případě snižování rychlosti je účelem experimentů zjištění průměrného zdržení vozidel na sledovaném úseku, ve kterém nastávají mimořádné události.

Při experimentu je předpokládáno:

- Pokud vozidlo jede rychlostí vyšší než je povolená rychlost v omezeném úseku, potom v úseku před omezením zpomaluje ze své rychlosti konstantním zpomalením na dráze 100 m. Po opuštění úseku s omezením je zase uvažováno, že na 100 m zrychluje konstantním zrychlením z omezené rychlosti na svou původní rychlost.
- Pokud vozidlo jede rychlostí nižší nebo rovnu jako je povolená rychlost v omezeném úseku, potom jede i na úseku s omezením svou původní rychlostí.

Z předpokladů plyne, že je nutné model upravit, aby bylo zohledněno zpomalení a zrychlení vozidel. Vyjdeme ze vzorce pro výpočet dráhy rovnoměrně zpomaleného pohybu:

$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a t^2,$$

kde: v_0atribut rychlosti (počáteční rychlost vozidla) [km/h],

vomezená rychlost [km/h],

t čas [h],

s ... dráha [km],

a ...zrychlení [km.h⁻²].

Postupnými úpravami dostaneme vztah pro výpočet doby jízdy vozidla při zpomalování před úsekem s omezením:

$$t = \frac{s}{0,5 \cdot (v_0 + v)}. \quad (8.1)$$

Při odvození zrychlení bude využito vztahu pro dráhu rovnoměrně zrychleného pohybu:

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a t^2,$$

kde: v_0 omezená rychlost [km/h],

v atribut rychlosti (konečná rychlost) [km/h],

t čas [h],

s ... dráha [km],

a ...zrychlení [km.h⁻²].

Postupnými úpravami dostaneme vztah pro výpočet doby jízdy vozidla při zrychlování vozidla za úsekem s omezením:

$$t = \frac{s}{0,5 \cdot (v_0 + v)}. \quad (8.2)$$

Celková doba jízdy na úseku je potom tvořena součtem dvou hodnot:

- Doba jízdy rovnoměrným pohybem původní rychlostí (uloženou v „Atr_rychlosti“) na úseku délky 1650 m
- Doba jízdy rovnoměrně zpomaleným nebo zrychleným pohybem stanovená dle vztahu (8.1) a (8.2).

Pro provedení simulačních experimentů je nutné upravit model. Nejprve je nutné vytvořit pro každý směr a každý úsek nový atribut, který bude představovat dobu jízdy na jednotlivých úsecích (viz obr. č. 8.1). Výpočet hodnoty atributu se realizuje pomocí nově vytvořených funkcí, kdy každému úseku a každému směru je přiřazena jedna funkce.

Doba_jizdy_M_C	Vypocet_M_C
Doba_jizdy2_M_C	Vypocet_mez_M_C
Doba_jizdy3_M_C	Vypocet_kon_M_C
Doba_jizdy_C_M	Vypocet_C_M
Doba_jizdy3_C_M	Vypocet_mez_C_M
Doba_jizdy2_C_M	Vypocet_kon_C_M

Obrázek č. 8.1 Atributy a funkce nutné k provedení experimentů

Výpočet pro funkci „Vypocet_M_C“ je ve tvaru:

IF Atr_rychlosti <= Omezena_rychlost

*Doba_jizdy_M_C = 1.75 * 60 / Atr_rychlosti*

ELSE

*Doba_jizdy_M_C = 1.65 * 60 / Atr_rychlosti + 0.1 * 60 / (0.5 * (Atr_rychlosti + Omezena_rychlost))*

ENDIF

RETURN Doba_jizdy_M_C

Tento výpočet vychází z předpokladů uvedených výše v textu.

Doby jízdy uložené v nově vytvořených atributech budou přiřazeny každému zásobníku („Minimum time“) na místo původních výpočtů (viz obr. č. 8.2).

Obrázek č. 8.2 Nastavení zásobníku v úseku s omezením

V úseku s omezením probíhá „Vypocet_mez_M_C“ způsobem, kdy opět záleží na aktuální hodnotě rychlosti vozidla. Je-li rychlost vozidla nižší nebo rovna omezené rychlosti, hodnota minimální doby pobytu „Doba_jizdy2_M_C“ je závislá na aktuální hodnotě rychlosti vozidla. V opačném případě minimální doby pobytu „Doba_jizdy2_M_C“ závisí na omezené rychlosti:

```

IF Atr_rychlosti <= Omezena_rychlost
    Doba_jizdy2_M_C = 0.1 * 60 / Atr_rychlosti
ELSE
    Doba_jizdy2_M_C = 0.1 * 60 / Omezena_rychlost
ENDIF
RETURN Doba_jizdy2_M_C

```

V poslední výjezdové části probíhá „Vypocet_kon_M_C“ následujícím zápisem:

```

IF Atr_rychlosti <= Omezena_rychlost
    Doba_jizdy3_M_C = 1.75 * 60 / Atr_rychlosti
ELSE

```



```

Doba_jizdy3_M_C = 1.65 * 60 / Atr_rychlosti + 0.1 * 60 / (0.5 * (Atr_rychlosti +
Omezena_rychlost))
ENDIF
RETURN Doba_jizdy3_M_C

```

Oba uvedené výpočty opět vychází ze zavedených předpokladů uvedených výše.

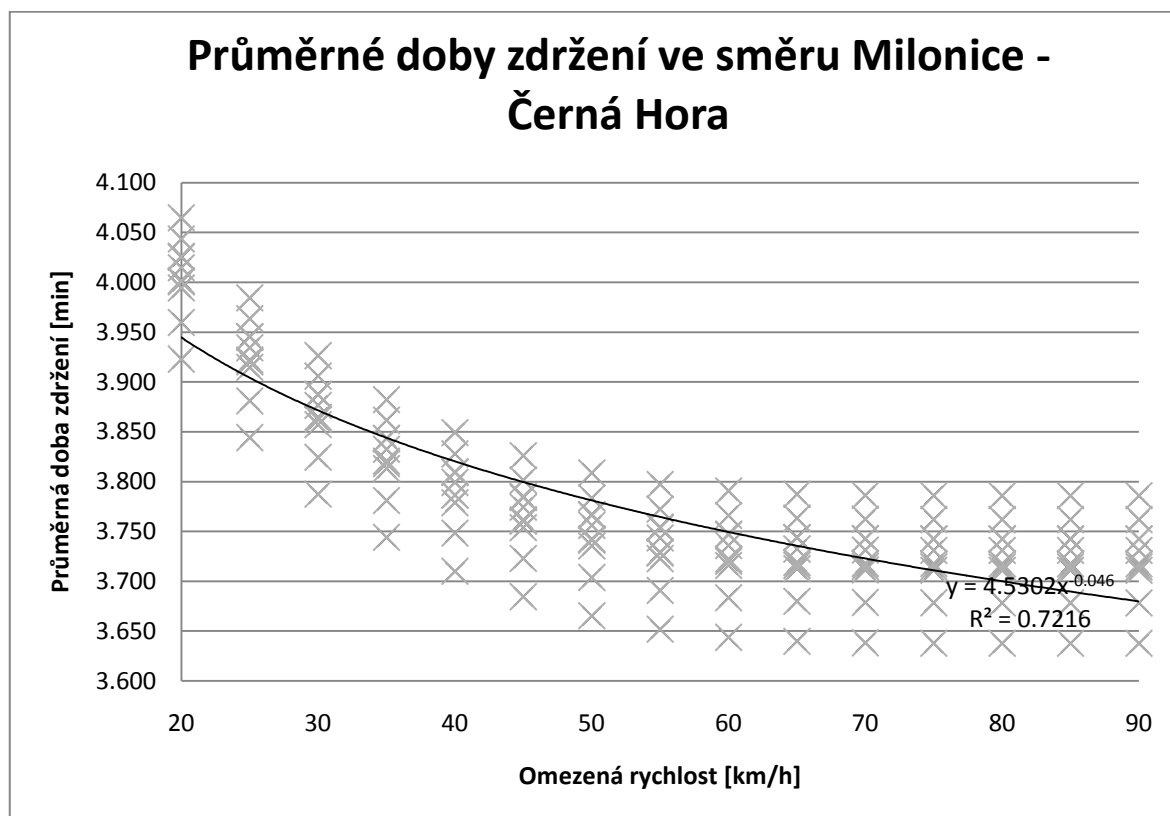
8.2 Výsledky experimentů při postupném snižování rychlosti

Pro získání průměrných hodnot, které odpovídají době pobytu vozidla, bylo provedeno deset simulačních běhů ukončených po dosažení hodnoty simulárního času 240-ti minut. Při experimentu také dochází k zaznamenávání hodnot zdržení každého vozidla, které na úsek vstoupí, přičemž hodnoty získané pro jednotlivá vozidla jsou použity pro výpočet směrodatné odchylky a rozptylu. Dosažené výsledky pro směr Milonice – Černá Hora jsou uvedeny v tab. č. 8.1.

Tab. č. 8.1 – Výsledná tabulka hodnot získaných ze simulačního experimentu

Směr Milonice - Černá Hora			
Rychlost [km/h]	Průměrné zdržení [min]	Rozptyl zdržení [min ²]	Směrodatná odchylka zdržení [min]
20	4.005	0.354	0.595
25	3.926	0.348	0.590
30	3.868	0.344	0.586
35	3.824	0.341	0.584
40	3.791	0.342	0.585
45	3.765	0.347	0.589
50	3.747	0.355	0.595
55	3.734	0.362	0.602
60	3.727	0.368	0.607
65	3.724	0.372	0.610
70	3.723	0.374	0.611
75	3.722	0.374	0.612
80	3.722	0.374	0.612
85	3.722	0.374	0.612
90	3.722	0.374	0.612

Při postupném snižování rychlosti dochází k prodlužování doby zdržení vozidla ve sledovaném úseku, k výraznějšímu nárůstu doby zdržení nedochází až do omezené rychlosti s hodnotou 55 km/h, po té každé další snížení znamená další výrazný nárůst doby zdržení. Průběh průměrné doby zdržení zobrazuje následující obrázek č. 8.3



Obrázek 8.3 Průběh průměrné doby zdržení ve směru Milonice – Černá Hora

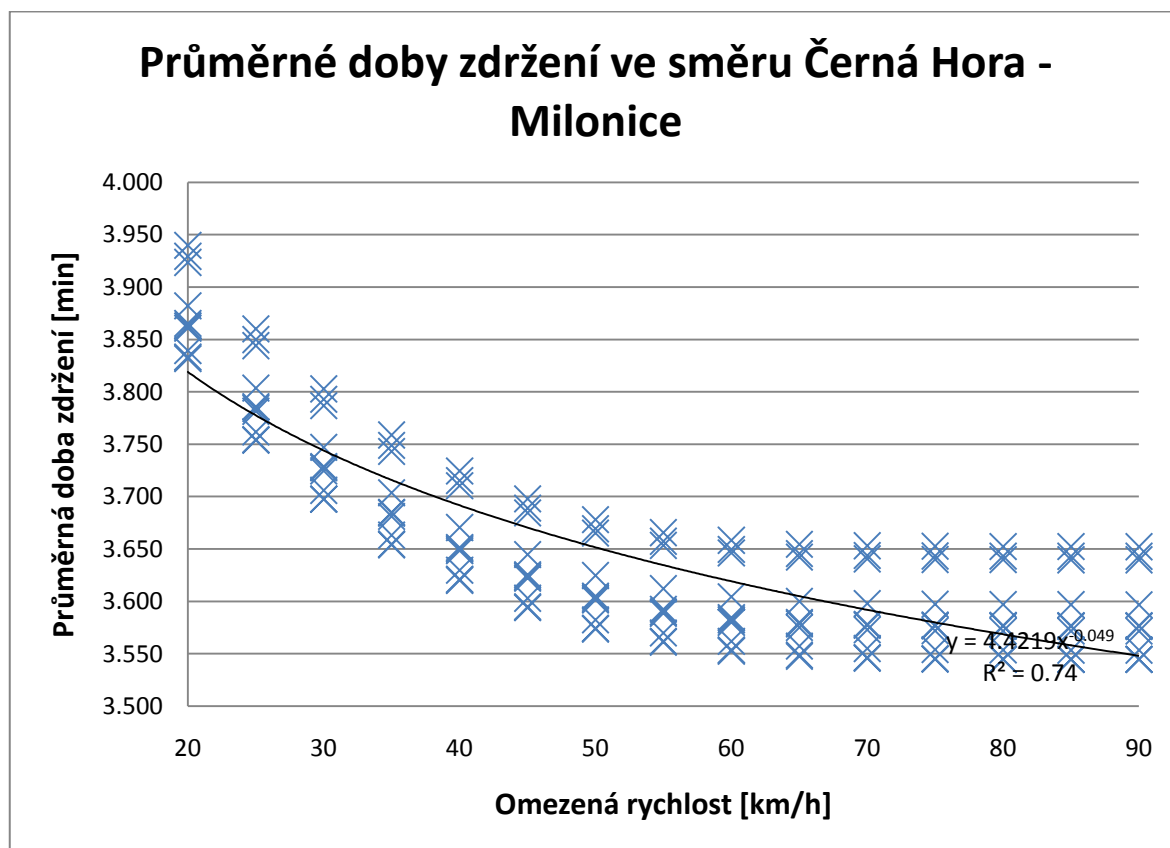
Dosažené výsledky pro směr Černá Hora - Milonice jsou uvedeny v tab. č. 8.2.

Tab. č. 8.2 - Výsledná tabulka hodnot získaných ze simulačního experimentu pro druhý směr

Směr Černá Hora - Milonice			
Rychlost [km/h]	Průměr zdržení [min]	Rozptyl zdržení [min ²]	Směrodatná odchylka zdržení [min]
20	3,877	0,338	0,581
25	3,798	0,333	0,577
30	3,741	0,329	0,574

35	3,698	0,326	0,571
40	3,664	0,326	0,571
45	3,638	0,329	0,574
50	3,618	0,333	0,577
55	3,605	0,340	0,583
60	3,597	0,346	0,588
65	3,593	0,351	0,592
70	3,591	0,353	0,594
75	3,590	0,354	0,595
80	3,590	0,355	0,596
85	3,590	0,355	0,596
90	3,590	0,355	0,596

V opačném směru dochází k podobnému scénáři, tedy k výraznějšímu nárůstu doby zdržení nedochází až do omezené rychlosti s hodnotou 55 km/h, po té již každé další snížení znamená další výrazný nárůst doby zdržení. Dosažené výsledky jsou graficky znázorněny na obr. č. 8.4



Obrázek č. 8.4 - Průběh průměrné doby zdržení ve směru Černá Hora - Milonice

8.3 Úprava modelu při uzavírce jednoho jízdního pruhu

Před provedením druhého typu experimentu uzavírky jednoho jízdního pruhu opět bylo opět nutno přistoupit k úpravě modelu. Simulace odpovídá případu, kdy je pro dopravu vozidel vyhrazen pouze jeden jízdní pruh a provoz je řízen dočasným světelným signalizačním zařízením. Uvažovaná rychlost v omezeném úseku je 30 km/h. Účelem experimentu je nalezení dob zelených pro oba proudy tak, aby se minimalizovala doba zdržení vozidel.

Ve výchozím stavu bylo uvažováno s délkou zelené 60 s pro každý směr. Dle TP č. 81 Navrhování světelných signalizačních zařízení pro řízení silničního provozu je nutné stanovit mezičas, který zajišťuje bezpečnou dobu projetí posledního vozidla vstupujícího do omezeného úseku. Výpočet se provádí následujícím způsobem:

$$m = \frac{l_v}{v_v} \cdot 3,6 + t_b, \quad (8.3)$$

kde:

mmezičas [s]

l_v ...vyklizovací dráha [m]

v_v ...rychlost vyklizujícího vozidla [km/h]

t_bbezpečnostní doba [s], dle zdroje [X] je bezpečnostní doba 4 s.

Dosazením do vztahu (8.3) dostaneme:

$$m = \frac{100}{30} \cdot 3,6 + 4 = 16 \text{ s}$$

Výsledná doba mezičasu je 16 s, ta bude dále využita při úpravě modelu. Do modelu je zavedeno několik nových proměnných (viz obr. č. 8.3).



Obrázek č. 8.3 Nové prvky použité při simulačním experimentu

„Aktualni_doba _cyklu“, je proměnná, která udává aktuální dobu cyklu. „Delka_cyklu“ je další proměnná, která udává délku cyklu a je závislá na začátcích a koncích zelených v jednotlivých proudech, v tomto případě, existují proudy pouze dva, proto proměnné „Zac_zelene“, „Konec_zelene“ a „Delka_zelene“ mají kvantitu 2. Využitím koláčového grafu nazvaným „Akce“ je prováděn výpočet aktuální doby cyklu. Toto je realizováno v akcích před obnovením („Actions before refresh“) grafu, která jsou prováděna každou simulární sekundu:

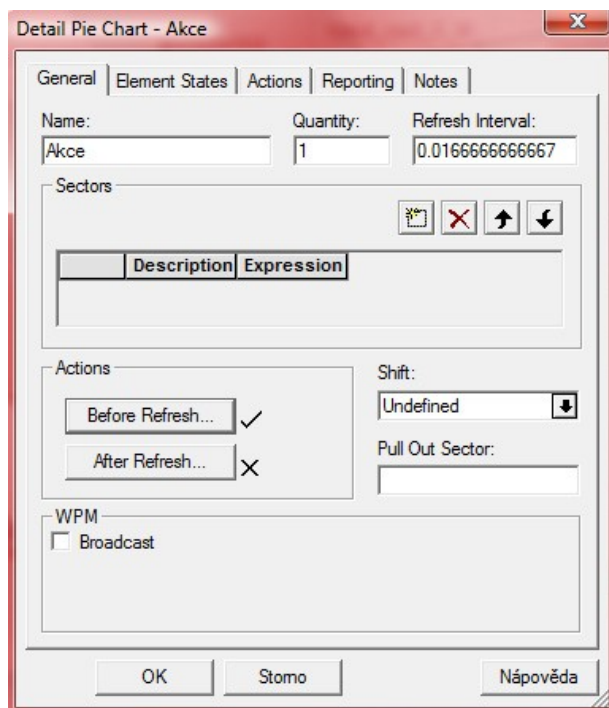
Aktualni_doba_cyklu = Aktualni_doba_cyklu + 1

IF Aktualni_doba_cyklu = Delka_cyklu

Aktualni_doba_cyklu = 0

ENDIF

Na obr.č. 8.4 je pak zobrazeno nastavení koláčového grafu Akce.



Obrázek č. 8.4 Nastavení koláčového grafu Akce

Přidáním funkce „Celková_doba_zdrzeni“, pak dochází k výpočtu celkové doby zdržení. V zápisu je využito funkce „TOTALIN“, která počítá celkový počet vozidel, které vstoupí do sledovaného úseku. Při výpočtu je využito i již vytvořených proměnných „Prum_Doba_zdrzeni_M_C“ a „Prum_Doba_zdrzeni_C_M“. Zápis funkce má následující tvar:

$$\text{RETURN } (\text{Prum_Doba_zdrzeni_M_C} * \text{TOTALIN}(\text{Vjezdova_cast_M_C}) + \text{Prum_Doba_zdrzeni_C_M} * \text{TOTALIN}(\text{Vjezd_cast_C_M})) / (\text{TOTALIN}(\text{Vjezdova_cast_M_C}) + \text{TOTALIN}(\text{Vjezd_cast_C_M}))$$

Celková doba zdržení je účelovou funkcí. Snahou je nalézt takové délky zelených, které budou minimalizovat celkovou dobu zdržení. Při optimalizaci bude použita nástavba Witness Optimizer.

Rovněž je využito proměnné „Omezena_rychlost“, která byla využita i v tomto experimentu. Nastavení omezené rychlosti je:

$$\text{Omezena_rychlost} = 30,$$

což odpovídá rychlosti 30 km/h. Pro získání výchozího řešení, pak budou v inicializačních akcích zapsány délky zelených, začátky zelených a jejich konce, u nichž je doplněna výchozí délka zelených a vypočtená hodnota mezičasu:

$$Delka_zelene(1) = 60$$

$$Delka_zelene(2) = 60$$

$$Zac_zelene(1) = 0$$

$$Zac_zelene(2) = Delka_zelene(1) + 16$$

$$Konec_zelene(1) = Delka_zelene(1)$$

$$Konec_zelene(2) = Delka_zelene(2) + Zac_zelene(2)$$

$$Delka_cyklu = Konec_zelene(2) + 16$$

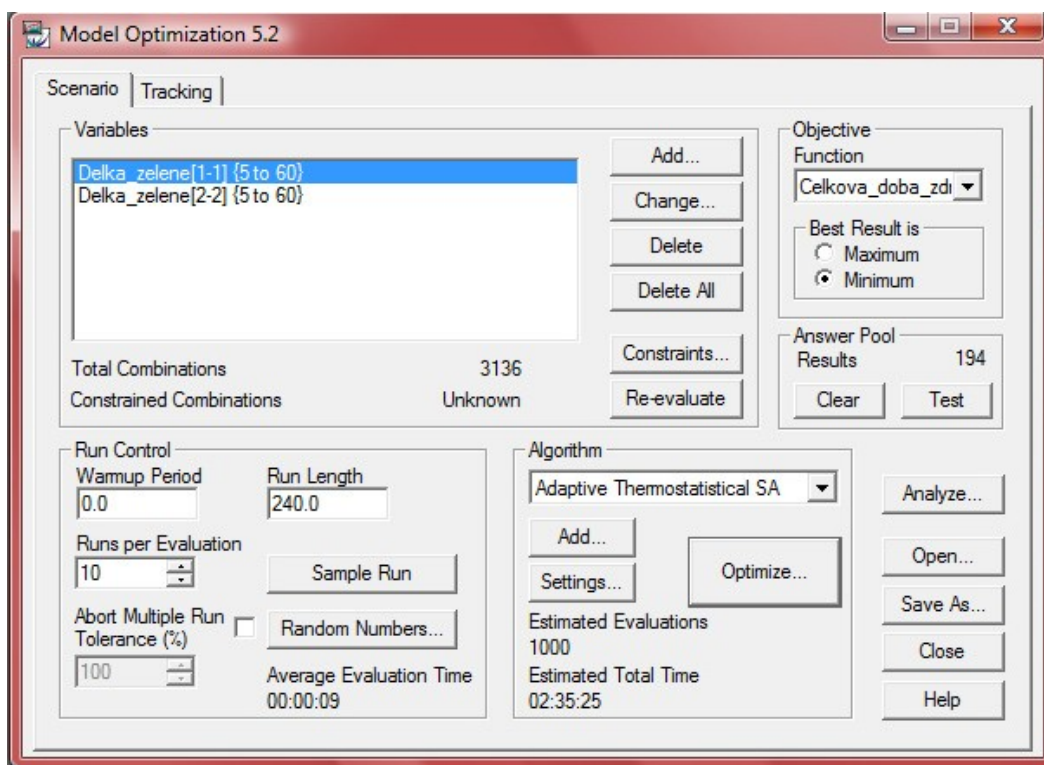
Pro takto sestavený simulační model bylo nalezeno výchozí zdržení vozidel (viz. tab. č. 8.3).

Tab. č. 8.3 –Průměrná doba zdržení při 60 s délce zelené

Směr Milonice - Černá Hora [min]	Směr Černá Hora - Milonice [min]
4.501	4.289
4.408	4.340
4.472	4.297
4.534	4.366
4.506	4.398
4.505	4.267
4.429	4.276
4.510	4.383
4.470	4.270
4.488	4.377

Pro nalezení optimální délky zelených je nutné správně stanovit množinu přípustných řešení. Uvažovaná délka zelených se bude pohybovat od minimální délky zelené dle TP 81, která činí 5 s, až po maximální uvažovanou hodnotu 60 s, uvažována jsou pouze celočíselná řešení. Při optimalizaci bude použita jedna z vestavěných metaheuristik, proto není zaručeno, že při optimalizaci bylo dosaženo globálního extrému. Optimizer bude hledat pro každý směr zvlášť optimální dobu zelené. Jelikož je pracováno se stochastickým modelem, bude pro každé nastavení 10 simulačních běhů s různými proudy

pseudonáhodných čísel („Runs per evaluation“). Délka jednoho simulačního běhu je opět 240 min. Nastavení Optimizeru je zobrazeno na obr. č. 8.5



Obrázek č. 8.5 Nastavení Optimizeru

Po ukončení hledání minimální doby zdržení z 50 hodnot nejlepších řešení (viz obr. č. 8.6) bylo vybráno nejlepší nalezené řešení s hodnotou zelené pro směr Milonice – Černá Hora 19 s a pro opačný směr je to hodnota 15 s. Toto řešení bylo vybráno jako nejvhodnější, v dalším postupu jsou s tímto řešením provedeny další experimenty. Dosažená hodnota účelové funkce „Celkova_doba_zdrzeni“ je 4,164 min.

	Evaluation	Celkova	Delka zel	Delka zel
1	226	4.164	19	15
2	228	4.169	19	17
3	387	4.169	19	13
4	225	4.172	19	16
5	161	4.173	25	19
6	391	4.174	19	14
7	173	4.175	23	19
8	223	4.175	20	16
9	51	4.177	29	19
10	158	4.178	26	19
11	29	4.178	27	21
12	222	4.178	20	17
13	20	4.179	25	20
14	94	4.179	23	21
15	156	4.179	27	19
16	60	4.179	27	18
17	16	4.18	24	20

Obrázek č. 8.6 Hodnoty nejlepších řešení

8.4 Výsledky experimentů při uzavírce jednoho jízdního pruhu

Vypočtené délky zelených jsou zapsány do inicializačních akcí

$$Delka_zelene(1) = 19$$

$$Delka_zelene(2) = 15$$

$$Zac_zelene(1) = 0$$

$$Zac_zelene(2) = Delka_zelene(1) + 16$$

$$Konec_zelene(1) = Delka_zelene(1)$$

$$Konec_zelene(2) = Delka_zelene(2) + Zac_zelene(2)$$

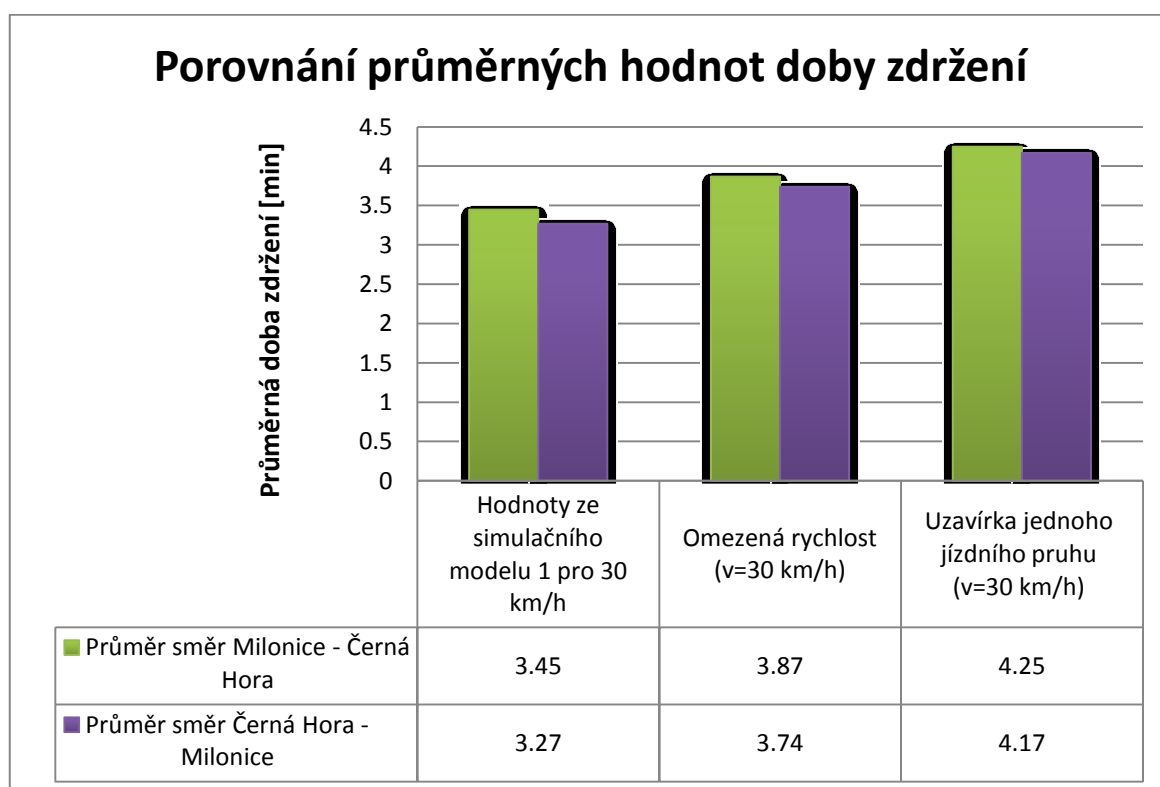
$$Delka_cyklu = Konec_zelene(2) + 16$$

S takto nastaveným simulačním modelem bylo opět provedeno 10 simulačních běhů za účelem nalezení délek zdržení jednotlivých vozidel. Každý simulační běh byl opět ukončen opět po dosažení simulárního času 240-ti min. Průměrné doby zdržení z každého simulačního běhu jsou zobrazeny v tab. 8.4.

Tab. č. 8.4 - Průměrné doby zdržení při uzavírce

Směr Milonice – Černá Hora [min]	Směr Černá Hora – Milonice [min]
4.246	4.147
4.167	4.174
4.254	4.167
4.264	4.249
4.305	4.240
4.284	4.103
4.198	4.108
4.312	4.219
4.232	4.117
4.257	4.170

Porovnání průměrných hodnot doby zdržení ze simulačního modelu 1, s omezením rychlosti na omezeném úseku na 30 km/h a jsou zobrazeny na následujícím obr. č. 8.7



Obrázek č. 8.7 Porovnání průměrných hodnot doby zdržení

9 ZÁVĚR

Při tvorbě simulačních modelů v software Witness bylo využito dvou přístupů. V rámci prvního přístupu byly využity prvky zásobník („Buffer“), v druhém přístupu byly využity prvky cesta („Path“). Z těchto dvou modelů byl pro potřeby dalších experimentů vybrán model se zásobníky.

Druhý model využívající prvek cesta („Path“) byl pouze validován. V rámci modelování pohybu vozidel by bylo nutné modelovat i pohyb vozidel uvnitř samotných prvků cesta („Path“), což by vedlo k značnému navýšení detailů modelu. Patrně bychom získali podobné výsledky, ale za podstatně delší dobu, kvůli zvýšeným nárokům na výkon hardware.

V rámci experimentů prováděných na simulačním modelu se zásobníky byly provedeny dva typy simulačních experimentů. Prvním simulačním experimentem bylo sledování doby pobytu vozidel v závislosti na postupném snižování maximální povolené rychlosti v omezeném úseku. Podstatný nárůst doby zdržení vozidel nastával po snížení omezené rychlosti pod hodnotu 60 km/h. Tento jev je způsoben tím, že po dalším snížení omezené rychlosti dochází k výraznějšímu omezení větší skupiny vozidel pohybujících se na sledovaném úseku, což se projeví na zvýšení doby zdržení.

Druhým simulačním experimentem je sledování doby pobytu vozidel při uzavírce jednoho jízdního pruhu. Za pomoci Optimizeru byla nalezena optimální délka zelené 19 s pro směr Milonice – Černá Hora a 15 s pro směr Černá Hora – Milonice. Délka zelených je ovlivněna relativně nízkou intenzitou vozidel vstupujících do sledovaného úseku.

Simulační model lze využít i pro kterýkoliv jiný silniční úsek se stejným šířkovým uspořádáním, pouze vložení jiných vstupních dat.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Internetové zdroje a servery

- [1] **Mapa – Regionalní tahy JmK** [online]. [cit. 2010-01-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.kr-jihomoravsky.cz>>
- [2] **Rozhodnutí o částečné uzavírce silnice** [online]. [cit. 2010-01-04]. Dostupný z WWW: <
http://www.smrzovka.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=15132&id=1276>
- [3] **Tabulka dopravních intenzit 2005** [online]. [cit. 2010-01-08]. Dostupný z WWW: <
http://www.scitani2005.rsd.cz/html/1_jm.htm>
- [4] **Postup řešení životní situace – pozemní komunikace** [online]. [cit. 2010-01-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.portal.gov.cz/wps/portal/>>
- [5] **Pozemní komunikace** [online]. [cit. 2010-01-09]. Dostupný z WWW: <
http://www.mdcz.cz/cs/Potrebuji-se_poradit/Zivotni_situace/Pozemni_komunikace/Pozemni_komunikace.htm>
- [6] **Zákon č.13/1997 o pozemních komunikacích** [online]. [cit. 2010-01-09]. Dostupný z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=13/1997>
- [7] **Modelování a simulace v dopravě** [online]. [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW: <
http://homen.vsb.cz/~s1i95/MaSvD/Simulace_1.pdf>
- [8] **Statistika I.** [online]. [cit. 2010-01-11]. Dostupný z WWW:< <http://is457.vsb.cz/bris/>>
- [9] **Brněnský deník**, Jaké jsou varianty vedení rychlostní silnice R 43 [online].[cit.2010-09-10]. Dostupný z WWW: <http://brnensky.denik.cz/zpravy_region/jake-jsou-varianty-vedeni-rychlostni-20090419.html>
- [10] **Aplikace počítačů v provozu, Witness** [online]. [cit. 2010-10-09]. Dostupný z WWW: <http://fs1.vsb.cz/~s1i95/appr/appr_RAM.HTM>

Monografické publikace

- [11] TP 189 *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích* 1. vyd. Liberec :EDIP, 2007. 49 s.

- [12] Folprecht, Jan, Křivda, Vladislav *Organizace a řízení dopravy I*, vyd. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2006, I.vydání, 158 stran, ISBN 80-248-1030-1
- [13] Křivda, Vladislav *Organizace a řízení dopravy II*, vyd. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, I.vydání, 154 stran, ISBN 978-80-248-2123-1
- [14] Široký, Jaromír *Aplikace počítačů v provozu vozidel*, vyd. Ostrava : VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2005, I.vydání 128 stran, ISBN 80-248-0768